



隧道与地铁施工专题精讲丛书

隧道及地下工程 喷混凝土支护技术

SUI DAO JI DI XIA GONG CHENG
PEN HUN NING TU ZHI HU JI SHU

关宝树 编



人民交通出版社
China Communications Press

隧道及地下工程 喷混凝土支护技术

关宝树 编

人民交通出版社

图书在版编目(CIP)数据

隧道及地下工程喷混凝土支护技术 / 关宝树编著. —北京: 人民交通出版社, 2009.4

ISBN 978-7-114-07595-7

I. 隧… II. 关… III. 隧道工程—喷射混凝土支护
IV. U455.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 016403 号

书 名: 隧道及地下工程喷混凝土支护技术

著 作 者: 关宝树

责任编辑: 陈志敏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×960 1/16

印 张: 18.5

字 数: 340千

版 次: 2009年4月 第1版

印 次: 2009年4月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07595-7

定 价: 46.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言 QIAN YAN

《隧道工程施工要点集》、《隧道工程设计要点集》和《隧道工程维修管理要点集》相继出版后,许多热心的读者给了我很大支持,一些读者提出能不能针对其中某个专题,集中来写,写深写透。事实上,想对某一个问题写深写透是不容易的,起码对我来说,是有难度的,但我想试一试,《隧道及地下工程喷混凝土支护技术》一书,就是一种尝试,希望对大家有益。

大家知道,在地下工程的支护技术中,喷混凝土具有独特的地位,它不仅可以作为初期支护确保隧道施工过程中的安全,维护坑道的稳定,也可以与其他支护构件或配合或单独地作为结构物的永久支护,维护结构物的长期稳定和安全使用。

最近几年,在喷混凝土技术中,为了适应不同的围岩条件和施工方法,出现了许多新型的喷混凝土,如高强度喷混凝土、初期高强度喷混凝土、高刚性喷混凝土、低粉尘高性能喷混凝土、纤维喷混凝土、聚酯喷混凝土等等。这充分说明,喷混凝土的应用越来越受到地下工程界的重视,在许多工程领域中应用越来越广泛,它已经成为地下工程和岩土工程支护中最有效的支护手段之一。

在推行喷混凝土技术的同时,也遇到各式各样的问题,如喷混凝土应该具备怎样的性能,喷混凝土是如何发挥其支护作用的,如何进一步提高喷混凝土支护的效果,施工中如何确保其性能的实现,以及喷混凝土的耐久性问题等等。编写本书的目的就是想从工程实践、理论以及试验上,尽可能地对上述问题做出解释。

本书引用的资料主要来自一些国家和机构颁布的有关喷混凝土技术的规定、指南和相关的文献,详见本书参考文献,在此一并表示感谢。

由于水平所限,本书必定存在很多不足,敬请读者批评指正。

作者

2009.3

目录 MU LU

第1章 绪论	1
1-1 坑道稳定性、支护结构与围岩分级	1
1-2 人工支护的基本要求	6
1-3 喷混凝土与浇筑混凝土	6
第2章 喷混凝土的支护作用	9
2-1 喷混凝土的工程应用	9
2-2 喷混凝土的支护作用、原理	12
第3章 喷混凝土性能及其核查方法	19
3-1 概述	19
3-2 喷混凝土的力学性能	21
3-3 喷混凝土的耐久性能	28
3-4 一些国家的喷混凝土性能指标	38
3-5 喷混凝土的性能核查	46
第4章 喷混凝土支护设计	52
4-1 概述	52
4-2 喷混凝土作为初期支护的设计方法	53
4-3 喷混凝土作为永久支护的设计方法	57
4-4 极限状态设计方法	62
4-5 挪威法(Norwegian Method of Tunneling)	71
第5章 施工计划	87
5-1 编制施工计划的基本原则	87
5-2 施工计划中重点考虑的问题	89
5-3 喷混凝土施工性能的确认	93
第6章 喷混凝土的材料及配比设计	99
6-1 喷混凝土的材料	99

6-2 喷混凝土的配比设计	111
第7章 制造及施工设备	123
7-1 概述	123
7-2 制造设备	124
7-3 制造方法	126
7-4 喷射设备	129
7-5 新型喷射系统	138
第8章 喷混凝土的施工	147
8-1 喷射面的事前处理	147
8-2 喷射作业	148
8-3 喷射过程中经常遇到的情况及其喷射要点	152
8-4 养护	159
8-5 施工管理	160
第9章 喷混凝土试验和检查方法	186
9-1 概述	186
9-2 检查和试验计划的编制	187
9-3 喷混凝土的喷射试验	188
9-4 混合材的试验方法	190
9-5 喷混凝土性能的试验方法	191
9-6 喷混凝土耐久性的试验方法	205
9-7 喷射厚度的检查	206
9-8 检查记录	206
第10章 钢纤维喷混凝土	208
10-1 概述	208
10-2 配比设计	210
10-3 施工	218
10-4 补强、补修	223
第11章 高性能喷混凝土	227
11-1 材料的品质	227
11-2 配比设计	229

11-3	混凝土品质	232
11-4	制造方法及设备	235
11-5	施工方法及设备	240
11-6	施工管理	241
11-7	试验及测定	245
第 12 章	喷混凝土技术的应用	246
12-1	用高强度喷混凝土代替钢支撑的试验施工——日本北陆新干线的 峰山隧道	246
12-2	短时间高刚性喷混凝土的施工试验——日本北陆新干线鱼津 2 号 隧道	259
12-3	改善耐海水性、水密性及作业环境的高强度低溶出型喷混凝土	266
12-4	降低粉尘新喷射系统的试验喷射	267
12-5	大变形地段的多层支护技术	273
12-6	含有大量灰结反应的喷混凝土	281
参考文献		285

第1章 绪 论

本章重点说明与坑道支护有关的基本知识,其中包括坑道稳定性、支护结构及围岩分级的概念和相互关系;坑道支护的基本类型与构成以及喷混凝土与浇筑混凝土的不同,作为认识和理解以后各章的预备知识。

1-1 坑道稳定性、支护结构与围岩分级

从根本上说,在坑道开挖过程中,都要回答一个关键性的问题,即:围岩具有多大的自支护能力?是否需要人工支护?用什么类型的人工支护和怎样支护?这样一些问题。因为在地下工程的设计、施工中,如何保证坑道的暂时稳定(施工期间)和长期稳定(运营期间)始终是一个基本的、关键性的问题。而要做到这一点,就要从理论上、实践上解决坑道稳定性、围岩分级与支护结构之间的相互关系这样一个问题。但是,解决这样的问题,是不容易的,因此,到目前为止仍然只能采用经验的、类比的以及工程试验的方法予以定性的解决。

1. 坑道的稳定性

这里所谓的坑道“稳定性”是指一定尺寸的坑道,在不加任何人工支护条件下的稳定状态。

坑道稳定性受到许多因素的影响,如埋深、地质条件、施工方法、坑道断面形状与尺寸等。因此必须从多种角度去研究坑道稳定性问题。下面提出的坑道稳定性分级是根据坑道尺寸大致在高 6.0m、宽 5.0m 左右的单线铁路深埋隧道的工程实践提出的。

根据铁路隧道施工实践,隧道开挖后的稳定状态可分为以下 4 类:

(1) 充分稳定

如前所述,在坚硬($R > 60\text{MPa}$)、整体(裂隙间距大于 1.0m)、耐风化的围岩中(如坚硬的花岗岩、石灰岩等),开挖坑道后,由于围岩强度高、围岩构造完整、不易松弛,坑道在长时间内有足够的自稳能力和自支护能力。因而不需任何人工支护而能维持长时间的稳定,无坍塌,偶尔有掉块。在特殊情况下会出现岩爆现象;在有涌水

的条件下,对施工作业不利,但对坑道的稳定性不会构成威胁。例如,单线铁路隧道围岩分级中的 I 级围岩,就属于坑道充分稳定的围岩。

(2) 基本稳定

在大块状构造的围岩及整体状的中硬岩($R > 30\text{MPa}$)中开挖坑道时,坑道会因爆破、岩块结合松弛而产生局部掉块,但不会引起坑道的坍塌,坑道总体上是稳定的,围岩具有相当的自支护能力。在层间结合差的平缓岩层,顶板可能弯曲、断裂,此时应采取局部人工支护或轻型的人工支护。在有涌水的条件下,会使部分围岩软化,强度降低,但坑道还是稳定的。例如,铁路隧道围岩分级中的 II 级围岩,就属于坑道基本稳定的围岩。

(3) 暂时稳定

大多数坑道都属于这个类型。在具有碎(石)块(石)状构造的围岩中,坑道开挖后常常呈现出不同程度的坍塌现象,坍塌后的坑道常呈拱形状态处于暂时稳定状态。暂时稳定的时间有长有短。在外界(如爆破、支撑顶替、回填不及时等)和内部(如地下水等)条件影响下,坑道如不及时采取人工支护会进一步丧失稳定。因此,在这种围岩中,必须采取各种类型的人工支护措施,来提高或保护围岩的自支护能力。例如,铁路隧道围岩分级中的 III、IV 级围岩,就属于坑道暂时稳定的围岩。工程实践证实:这种类型围岩坑道失稳的特点,多数是从拱部或侧壁失稳开始,而后扩展到整个隧道。

(4) 不稳定

在块石土、堆积土、砂质土等土砂围岩中,包括断层破碎带、全风化带等,坑道在不支护条件下是难于开挖的,随挖随塌,常常要“先支后挖”,围岩无自支护能力,或自支护时间极短。不仅需要强有力的初期支护,还需要采取稳定掌子面的辅助施工方法,如管棚以及各种超前支护。有时为了稳定掌子面还需要采取稳定掌子面前方围岩的措施。坑道的坍塌发生迅速、影响范围大,在浅埋条件下,有时可塌到地表面或在地面形成沉陷盆地。在有水的情况下,土体流动造成极大荷载。在这种情况下,需要采取专门的人工支护措施和特殊的施工方法来保证坑道的稳定。例如,铁路隧道围岩分级中的 V、VI 级围岩,就属于坑道不稳定的围岩。工程实践证实:这种类型围岩的坑道失稳特点,多数是从掌子面正面挤入或底部鼓起开始,而后扩展到整个隧道。

由此可见,坑道围岩状态的不同,坑道开挖后的稳定状态也是不同的,其失稳的特点也不一样,因此,采取的控制稳定的技术措施也是不同的。

上述坑道稳定性的划分,主要是根据地质条件,即围岩条件划分的,也是划分围岩级别的主要判据。实际上,影响坑道稳定性的因素很多,其中地质的不确定性是主因。以当前的地质分析手段,还很难做出十分可靠的判定。因此,不能单纯用围岩条件划分。例如:在同样的围岩条件下,坑道开挖断面积越大,坑道稳定性也随之降低;

埋深越小,坑道越易于坍塌等,这是不言而喻的。为了解决这个问题,大多数国家都采取不改变围岩级别而改变支护结构参数的做法,因为这是最直接、最可靠的方法,这也是我们目前采用的基本方法。

2. 坑道支护

依上所述,与坑道稳定性分级相对应的控制坑道稳定性的支护措施,也可进行分类。

坑道支护,从性质上看,主要分为**自支护**和**人工支护**两部分。自支护是指围岩自身所具有的支护能力,而人工支护则指在围岩自支护能力不充分的条件下采取的人为的支护措施。两者共同构成了坑道的永久支护体系,即:

坑道支护=围岩的自支护特性+人工支护

前面的坑道稳定性分级,就是坑道的自支护特性研究的一个实用而确实的方法。**围岩自支护的能力是由围岩自身条件所决定的,是客观存在的、固有的、自然的围岩特性。**这种特性在开挖过程中,视开挖方法的优劣,会受到一定的损伤,从而降低了固有的自支护能力。为了尽可能地减少这种损伤的程度,除了在开挖方法上采取一定措施外,更为主要的是,通过人工支护的方法,来提高围岩的自支护能力或控制这种自支护能力的降低。这就是采用人工支护的根本目的和要求。

人工支护通常又分为**一次支护**(初期支护和超前支护)和**二次支护**(永久支护或二次衬砌)两大类。

在施工期间为了保证施工安全,减少坑道围岩松弛,及时地控制围岩松弛的发展,更主要的是为了控制围岩自支护能力的降低,从而更充分地利用围岩的自支护能力,常常需要对坑道进行一次支护,也就是所谓的初期支护。它是在施工过程中采用的支护措施,在这个意义上,也可以称为施工支护。由于一次支护的力学特性,它不仅在施工期间能够维护坑道的稳定或暂时稳定,还能够与二次支护一起,发挥永久支护的作用。

在现代的隧道施工中,一次支护主要采用喷混凝土、锚杆等既能够在施工期间维护坑道的稳定、控制围岩自支护能力的降低,又能够作为永久支护结构一部分的支护方法。

另外,也要认识到,有时仅仅采用喷混凝土、锚杆及钢架等一般人工支护方法不能保证坑道的稳定时,还需要采取辅助的支护措施来维护坑道的稳定。这种措施,在支护的意义上看,也是一种人工支护方式,如小导管注浆、管棚、锁脚锚杆、留核心土、掌子面锚杆、围岩注浆等支护方式。这是保护围岩自支护能力的重要措施。一般说,这种人工支护的措施,多数是在地质条件差的情况时采取的。而在设计中,常常忽视了其可能产生的支护作用,仅仅作临时的支护措施。一般说,在坑道不稳定的条件下,必须辅以辅助支护措施,才能确保坑道的稳定和开挖的顺利进展。

二次支护,也是人工支护的一种类型。在目前的设计原则中,主要是在运营期间和一次支护一起,维护坑道的长期稳定和耐久性的基本结构,又称为永久支护或衬砌。

根据地质条件和施工实践,二次支护的功能可分为两种情况考虑,即:

(1)在**施工阶段**,基本上是不承载的。即:在一次支护变形基本收敛后,才施作二次支护的情况,此时二次支护是不承载的。一般说,在不采用超前支护的地质条件下,都可以按照不承载的原则进行设计和施工。

(2)在有些情况下,如需要控制地表面下沉、控制较长时间内一次支护变形不收敛,特别是先行修筑仰拱的情况下,二次支护在一次支护变形没有收敛的情况下就要修筑。在这种情况下,二次支护也需要在施工期间发挥其作用,承受相应的荷载。一般说,在采用超前人工支护的情况下,二次支护应按承受一定荷载的情况进行设计和施工。

应该指出,两种支护手段都是重要的,在选择时必须通盘考虑。

依上所述,坑道支护可作如下分类(图 1-1):

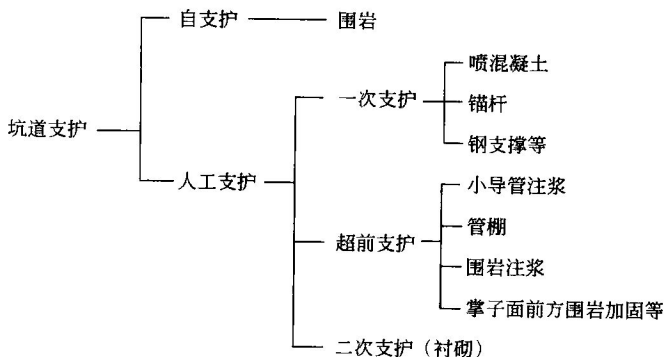


图 1-1 坑道支护的类型

实质上,支护措施常常是采取自支护和人工支护的组合形式。原则上,在充分利用和发挥围岩自支护能力的条件下,配合采取不同的人工支护方式,共同地进行有效的支护。

根据坑道稳定性的分级和构筑支护方式的组合情况,人工支护类型大体上分为以下 4 类。

(1)**饰面支护或防护支护**:围岩本身有充分的自支护能力,仅用以防止围岩的风化或局部掉块;

(2)**构造支护**:利用围岩的自支护能力,为防止围岩在长期使用过程中自支护能力的降低而采取的构造上的措施;

(3)**承载支护**:由围岩自支护能力和一般人工支护构成,二次支护是不承载的;

(4) **特殊承载支护**:由围岩自支护能力、一般人工支护和超前支护构成,二次支护是承载的。

饰面支护应用于坑道充分稳定的情况。它的作用是封闭岩面、防止围岩风化。一般在围岩表面喷射 2~3cm 的水泥砂浆或 5cm 的混凝土。在确保围岩无风化和局部掉块的情况下,亦可不施加防护支护。

构造支护是指仅仅按结构的最小厚度设置的支护。它应用于坑道基本稳定的情况。这种支护受到的荷载很小,或者说,基本上是不承载的。依计算确定的厚度很小,但施工很难做到。因此,厚度多视施工的可能,按具有最小承载力的要求,采用最小值。采用喷混凝土时,通常采用不小于 8cm 的喷混凝土。如有局部掉块的可能,也可设置一定长度的局部锚杆。

承载支护是具有一定承载能力的支护。它应用于坑道暂时稳定的情况,是目前采用最多的支护模式。根据荷载的性质、方向、大小、分布等的不同,其类型与构造是多种多样的。这种支护的厚度多数是依经验决定的。目前在铁路隧道中,在这种围岩中修筑时,一次支护多采用厚 10~15cm 的喷混凝土和一定长度的系统锚杆。二次支护,基本上采用浇筑混凝土衬砌。

特殊承载支护应用于坑道不稳定的情况。由于荷载大,而且是具有特殊性的,如膨胀性、偏压等,因此在这种情况下,多要采用“先支后挖”的支护措施及强有力的一次支护。此时一次支护通常采取“先支后挖”的超前支护措施,如小导管等。同时采用厚 15~25cm 的喷混凝土、一定长度的系统锚杆或特殊锚杆、格栅或钢支撑等。特别需要说明的是:在这种围岩条件下,二次支护也要承受一定的荷载,必要时采用钢筋混凝土衬砌。

3. 围岩分级

隧道的围岩分级,是把具有不同坑道稳定性和支护结构的围岩组合到一起进行分级的一种方法。

根据单线铁路隧道的施工实践,目前采用的围岩分级与坑道稳定性和支护类型之间的关系如表 1-1 所示。

围岩分级、坑道稳定性和支护级别间的大致关系

表 1-1

围岩级别	I	II	III	IV	V	VI
稳定性划分	充分稳定	基本稳定	暂时稳定		不稳定	
初期支护	喷混凝土或砂浆	喷混凝土、局部锚杆	喷混凝土、锚杆		喷混凝土、锚杆、钢架等	
超前支护	—	—	—		超前小导管、管棚以及稳定掌子面的支护技术,如留核心土、正面喷混凝土和正面锚杆等	
二次衬砌	饰面衬砌	构造衬砌	不承载衬砌		承载衬砌	

上述分析是针对单线铁路隧道而言的。双线铁路隧道或双车道公路隧道、大断面坑道的情况下,原则是基本相同的,仅仅在支护结构的参数和构成上有些差异而已。

1-2 人工支护的基本要求

人工支护应满足以下要求:

- 能够与隧道周边围岩大面积地牢固接触,即保证支护—围岩体系作为一个统一的整体工作;
- 不仅能够发挥一次支护的作用,并能够作为永久支护,发挥长期的支护作用;
- 既能够控制围岩的变形和松弛,又能够与围岩协调变形,其支护刚度是能够调节的;
- 支护能够及时施作,强度、厚度能够及时调节;
- 能够适应各种围岩条件。

应该说,要想采用一种支护手段来满足上述要求是很困难的。因此施工中常常是多种支护手段并举,如喷混凝土、锚杆和钢架等,但不管采用何种方法,喷混凝土是不可缺少的。因为喷混凝土是唯一的能够全面满足上述要求的支护手段,因而也是地下工程支护最有效的支护手段。

1-3 喷混凝土与浇筑混凝土

制造混凝土的方法多种多样,如喷混凝土是用喷射方法制造的混凝土,浇筑混凝土是用浇筑方法制造的,而挤压混凝土又是用挤压的方法制造的混凝土。由于制造方法的不同,造出的混凝土性质也有所差异。作为地下工程的初期支护,喷混凝土因其具有适合的特性,而被广泛地采用。

喷混凝土与一般浇筑混凝土不同,是用空气压把新鲜混凝土喷出,用空气的力量压送,添加、搅拌、混合速凝剂后,在空气中搬送、附着壁面的方法。

这样的喷混凝土的材料也是使用混凝土的材料,但施工方法与一般浇筑混凝土不同,是用压缩空气“喷射”的,因此就产生各种各样的优缺点。与一般浇注混凝土最大的不同是材料的回弹、配比。表 1-2 列出两种方法制造的混凝土特征的比较。

喷混凝土与浇筑混凝土的特征比较

表 1-2

制造阶段的划分	喷 混 凝 土	浇筑混凝土
材 料	构成材料,一般与浇筑混凝土相同,但混合材使用速凝剂,湿喷的场合,必要时还要使用混合剂	构成材料是水泥、水、细骨料、粗骨料及混合材等
配 比	粗骨料最大尺寸在 15mm 以下,比较小,细骨料率比较大,一般不考虑含气量; 水灰比根据单位水泥量和单位水量而定,不根据配比强度设定; 单位水泥量,根据过去的实际情况决定,一般在 $360\sim 450\text{kg}/\text{m}^3$; 施工后的附着配比,受到回弹、粉尘等影响,与制造配比不同	粗骨料尺寸 20~40mm,含气量根据耐久性、和易性选定; 水灰比根据设计基准强度(配比强度)、耐久性选定; 单位水泥量,根据水灰比和单位水量选定; 施工后的配比,与制造时的配比几乎相当
制 造	速凝剂和水在施工地点添加(干喷的场合),除此以外,都在制造设备中计量、拌和	所有的材料都由制造设备计量与拌和
模板、钢筋	一般不需要设置模板、钢筋	模板及钢筋基于设计图纸配置
运搬(浇筑或喷射)	一般有用压缩空气的空气压送及空气压送和泵压送组合 2 种方法	一般用混凝土泵压送运搬按落下高度 1.5m 以下进行浇筑
捣 固	一般不使用捣固机械,喷射有自捣效果	一般使用内部捣固器捣固
养 护	一般说,隧道内比洞外的温度变化小,湿度高; 从与围岩附着开始,随着围岩的变形而变形,也会受到爆破振动的影响;	施工后,按规定天数进行湿润养护或保温养护; 需保证不受外力、振动的影响

在喷混凝土施工中,因为使用压缩空气,压送管的脉动、堵塞会降低压送性,从而造成压送管的损伤,是非常危险的,要加以避免。其次,喷射时发生的粉尘有可能损伤作业者的健康。另外,喷混凝土与围岩的附着以及初期强度,是为了确保开挖后尽可能早地使围岩稳定的重要性能,如果此性能不能充分发挥,喷射作业中,会发生混凝土剥落,显著地降低作业的安全性。因此,喷混凝土施工的好坏,不仅对硬化后的品质产生影响,也会对施工的安全性产生影响,这与一般的浇筑混凝土是不同的。

用压缩空气的力把混凝土喷射到壁面的方法,由于提高了与壁面的附着性能,还没有充分硬化的混凝土也不会因自重而剥离,其次在硬化发展过程中,也能够充分发挥喷混凝土的支护效果。

其次,在还没有硬化的混凝土上面,用很大能量喷射新的材料所产生的捣固效果,可以提高混凝土的密实度,从而增进强度和耐久性,这就是喷混凝土的自捣固效果。

众所周知,因利用空气搬送和使用速凝剂,可以在任意方向,不使用模板进行施工。因此“喷射”作为支护手段,是一个非常好的方法。喷混凝土又常常被称为无模板的混凝土施工方法。

“喷射”并不是一件容易的事,例如其施工的好坏、喷嘴工的技术素质等,都会造成混入空气和回弹物、钢架背后留有空隙、速凝剂添加量的不合适,或者表面不平整等问题,其结果是降低喷混凝土自身和支护的品质,引起危险,这是不可否认的。幸好,喷混凝土的品质可以通过各种试验管理等手段来控制,只要严格按操作规则办,一般都可以确保其质量,不会发生大的问题。

此外速凝剂的添加、搅拌、混合,也会出现不均匀以及粉尘的发生,这都与速凝剂有关,因此,开发新的速凝剂和速凝剂搅拌装置是很必要的。

一般说来,喷混凝土只要严格按照施工工艺、技术要求来做,是完全可以保证其质量的。

第2章 喷混凝土的支护作用

本章重点说明喷混凝土是如何发挥其支护作用的。与围岩和二次衬砌相比,薄薄一层喷混凝土为什么能够控制围岩的变形和松弛?为什么在地下工程中获得如此广泛的应用?本章准备从工程实践等方面做出解释。

2-1 喷混凝土的工程应用

喷混凝土支护为什么能够起到稳定坑道围岩的作用?下面我们首先通过一些事例来说明喷混凝土在不同地质条件下的应用情况,也许会提高我们对喷混凝土支护作用的认识和理解。

1. 在砂质土、黏质土等土砂围岩中的应用

这是城市隧道以及山岭隧道洞口段非常普遍的地质条件,埋深比较浅,在数米到数十米之间,砂质土由于未固结、细颗粒少,只要有少量涌水,掌子面自稳性就显著恶化。黏质土属于围岩强度应力比比较小,垂直荷载大,地基承载力不足的围岩,相当于V~VI级围岩。

喷混凝土与锚杆和钢架并用,用以及时闭合断面。喷射混凝土厚度约为20~25cm,在这种情况下拱部锚杆的效果不能充分发挥,喷混凝土多与型钢钢架配合使用。

喷混凝土分多次喷射,开挖后立即进行初次喷射,可防止拱顶部和正面掌子面的围岩掉块和松弛(图2-1)。

接着架设钢架并进行二次喷射,随着喷混凝土的初期强度的产生,支护阻力和刚性增加,抑制了围岩松弛的扩大(图2-2)。

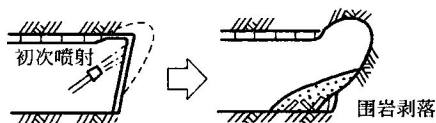


图 2-1 向拱顶和掌子面进行的初次喷射

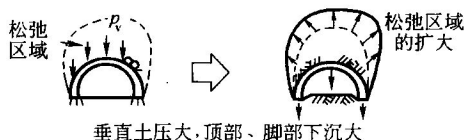


图 2-2 控制松弛扩大的二次喷射

最终断面闭合后,与围岩一起形成喷混凝土支护结构体,位移开始收敛。位移大的场合,喷混凝土结合部可能发生开裂(图 2-3)。

在上述场合,由于围岩初期变形速度快而且变形量大,采用初期强度高的喷混凝土控制围岩变形的效果极好。

2. 在软岩中的应用

单轴抗压强度在 $20\sim 30\text{MPa}$ 以下,受变质和挤压、破碎作用,掌子面自稳性差,由于应力释放和围岩的蠕变特性,会出现塑性土压增长现象。在这种场合,多同时采用喷混凝土、锚杆和钢架,用以闭合断面。特别是喷射初期采用早强喷混凝土,效果更好。喷射厚度一般约为 $15\sim 20\text{cm}$ 。

初次喷射后,虽然围岩强度小,但喷射后可防止拱顶和掌子面掉块。

二次喷射后,如喷射厚度充分,随混凝土强度出现,则能够控制围岩位移的增加,防止松弛的发生(图 2-3);最终断面闭合后,围岩位移收敛。如围岩位移大、喷层过厚时,结合部可能发生弯曲开裂(图 2-4)。

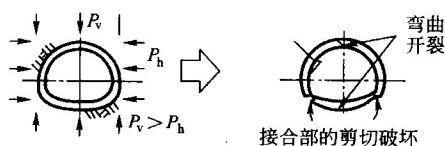


图 2-3 喷射的最终状态

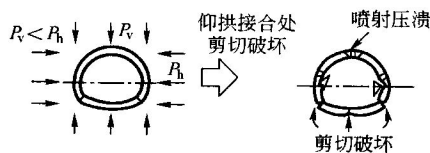


图 2-4 喷射的最终状态

3. 在中硬岩中的应用

岩块本身很硬(单轴抗压强度在 $30\sim 60\text{MPa}$)，但节理发育，具有显著各向异性。因裂隙的抗剪强度小和开挖后的应力释放，产生松弛，也易于产生掉块和偏压。

喷混凝土可单独使用，但基本上与锚杆并用，喷射厚度为 $10\sim 20\text{cm}$ 。

一次喷射后可防止沿节理的围岩剥离、剥落(图 2-5)。

由于增加喷射厚度和强度的出现，能够防止围岩沿节理的剥落(图 2-6)。



图 2-5 节理发育围岩中的喷射

4. 在硬岩中的应用

岩块坚硬，裂隙少，有黏土充填时可能出现岩块剥落。

喷混凝土一般单独使用，喷射厚度约为 $8\sim 10\text{cm}$ 。

喷射后，由于喷混凝土与围岩的附着作用，能够防止大岩块的剥落(图 2-7)。

这种场合的喷混凝土，要求具有较高的附着强度。