

软弱围岩 隧道施工技术

关宝树 赵 勇 编著

- 预支护、快挖、快支、快封闭
- 控制掌子面先行位移的技术
- 控制掌子面挤出位移的技术
- 控制掌子面后方位移的技术
- 控制拱脚下沉的技术
- 控制地表面下沉的技术
- 软弱围岩地下水对策技术



人民交通出版社
China Communications Press

Ruanruo Weiyang Suidao Shigong Jishu
软弱围岩隧道施工技术

关宝树 赵 勇 编著

人民交通出版社

前言

如何又快又好地修建隧道工程,特别是在软弱围岩地质条件下的隧道工程,是当前隧道工程界面临的重要课题之一。如何应对目前在软弱围岩隧道施工中面临的各种难题,控制隧道在开挖过程中的变形和围岩松弛,减少施工临时支护,防止坍塌,改善和提高现有的技术水平,这就是编写本书的主要目的。

对软弱围岩隧道施工的基本要求,一句话概括,就是把隧道开挖后的围岩松弛、变形控制在容许范围之内。这里必须解决四个根本性的问题:一个是软弱围岩的内涵及其特性(第1、2章);一个是软弱围岩开挖后是如何变形的以及各种因素是如何影响变形的(第3、4章);再一个是如何把隧道开挖后的围岩松弛和变形控制在容许范围之内(第5~11章),这是本书的重点;最后就是在软弱围岩中隧道开挖后的容许变形究竟是多大(第12章)?

如上所述,本书编写的重点放在如何控制隧道开挖后的围岩松弛和变形技术上,其中包括:控制掌子面先行位移的技术(第6章);控制掌子面挤出位移的技术(第7章);控制掌子面后方位移的技术(第8章);控制支护脚下下沉的技术(第9章);控制地表面下沉的技术(第10章)以及地下水对策(第11章)。鉴于我们的施工技术现状,把6、7、9章又作为“重中之重”予以较多的篇幅进行阐述。本书这种写法也是第一次尝试,因为控制技术的划分,是不能截然分开的,每种控制技术都具有主体功能和次要功能,其功能是多方面的。在软弱围岩隧道施工中,如果能够灵活、综合地运用这些技术,必将极大地提高和完善我国软弱围岩隧道的施工技术水平。

这里应该说明的是,本书所列举的施工事例多数是目前国外实施的事例,特别是日本的铁路、公路隧道施工事例,引证的资料绝大多数取自书后列举的国外目前现行的规范、指南以及有关文献。

本书由关宝树、赵勇共同编写。刘建友、李鹏飞、彭峰提供了部分技术资料,在此一并表示感谢。

希望本书的出版,能够对启发、提高、完善我国的软弱围岩隧道施工技术做出微薄的贡献,书中存在的问题,希望读者给予指正。

作者
2011年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 软弱围岩的含义	1
1.2 软弱围岩隧道施工主要技术问题	2
1.3 软弱围岩隧道修建技术的发展方向	5
第 2 章 软弱围岩的地质特征及其评价	7
2.1 软弱围岩的变形特征和力学机制	7
2.1.1 软弱围岩变形特征	7
2.1.2 软弱围岩变形力学机制	8
2.2 软弱围岩的强度特征	9
2.3 软弱围岩的分类及评价	10
2.3.1 软岩的地质分级	10
2.3.2 软岩的工程分类	11
2.3.3 软弱围岩的评价	12
第 3 章 软弱围岩隧道变形的力学动态	23
3.1 软弱围岩隧道施工变形的基本规律	23
3.1.1 围岩变形的时空效应	23
3.1.2 围岩纵向变形曲线	25
3.1.3 隧道施工变形规律的数值模拟	27
3.2 掌子面前方先行位移变化力学动态	30
3.3 掌子面挤出变形力学动态	30
3.4 隧道掌子面后方位移的力学动态	31
3.5 实例说明	32
第 4 章 影响围岩变形的基本因素	34
4.1 初始地应力场	34
4.2 围岩的力学特性及构造特性	39
4.3 围岩强度应力比	44
4.4 隧道形状的影响	47
4.5 隧道断面尺寸的影响	48
4.6 隧道埋深的影响	49

4.7	施工方法的影响	50
4.8	管理水平的影响	52
第5章	软弱围岩隧道变形控制的基本理念和原则	54
5.1	软弱围岩隧道变形控制的基本理念	54
5.1.1	刚性支护控制理念	54
5.1.2	柔性支护控制理念	54
5.2	软弱围岩隧道变形控制的基本原则	55
第6章	控制掌子面先行位移的技术	67
6.1	超前支护分类	67
6.2	短超前支护	68
6.2.1	小导管支护	69
6.2.2	插板法	78
6.2.3	预衬砌支护技术	83
6.3	长超前支护	86
6.4	管棚	99
6.5	水平旋喷注浆工法	104
第7章	控制掌子面挤出位移的技术	112
7.1	掌子面形状	112
7.2	留核心土	114
7.3	掌子面喷混凝土	116
7.4	掌子面锚杆	117
7.4.1	概要	117
7.4.2	注意事项	119
7.4.3	施工事例	119
7.5	岩土控制变形分析法	144
7.5.1	岩土控制变形法的基本理念	144
7.5.2	岩土控制变形法隧道设计施工主要程序	146
7.5.3	岩土控制变形的监控量测	150
7.5.4	岩土控制变形法工程实践	152
第8章	控制掌子面后方位移的技术	161
8.1	喷射高性能混凝土	161
8.1.1	初期高强度喷混凝土	162
8.1.2	高刚性喷混凝土	164

8.2 高承载力锚杆	167
8.2.1 锚杆的作用效果	167
8.2.2 高承载力锚杆	170
8.3 高规格钢支撑	171
8.4 多重支护	174
第9章 控制拱脚下沉的技术	178
9.1 临时仰拱	178
9.2 扩大拱脚	180
9.2.1 加肋钢支撑	180
9.2.2 喷混凝土拱脚补强	181
9.3 拱脚补强	182
第10章 控制地表面下沉的技术	195
10.1 地表面下沉的实态	195
10.2 地表面下沉产生的主要因素及主要控制对策	200
10.3 控制地表面下沉的技术对策	202
10.3.1 地表旋喷桩加固地层	202
10.3.2 地表垂直锚杆补强	203
10.3.3 控制地表整体下沉	205
10.3.4 加强沉降量测	205
第11章 软弱围岩隧道地下水对策技术	209
11.1 地下水对软弱围岩的影响	209
11.2 涌水对策	209
11.3 排水对策	211
11.3.1 排水对策的形式和适用范围	211
11.3.2 排水坑道	214
11.3.3 排水钻孔	215
11.3.4 井点	219
11.3.5 管井	221
11.4 堵水对策	224
11.4.1 注浆	224
11.4.2 隔断壁	229
第12章 软弱围岩隧道施工管理	232
12.1 实现动态管理的基本理念	232

12.1.1	动态管理的概念	232
12.1.2	动态管理必须具备的条件	232
12.2	软弱围岩隧道的观察、量测管理	235
12.2.1	观察与量测的作用	235
12.2.2	量测对象及其与围岩动态的关系	236
12.2.3	观察的重要性及其应用	244
12.2.4	位移量测中的注意事项	251
12.2.5	已施工区间的量测和数据管理	257
12.2.6	量测技术的研究和开发	259
12.2.7	量测数据的统计分析	263
12.2.8	观察、量测管理方法	275
12.3	软弱围岩隧道掌子面前方地质探查	277
12.3.1	常用的地质探查方法	278
12.3.2	前方探查方法的适用性	288
12.3.3	前方探查的工程事例	289
12.4	隧道施工作业管理和支护质量管理	291
12.4.1	隧道施工作业管理	291
12.4.2	隧道支护施工的质量管理	293
12.5	软弱围岩隧道变形控制的管理基准	307
	参考文献	310

第 1 章 绪论

1.1 软弱围岩的含义

围岩是指受隧道开挖影响而发生应力状态改变的周围岩土体。根据岩土体的强度,可将围岩分为坚硬围岩和软弱围岩两大类。这里所指的围岩强度是指包含结构面的岩土体强度。对岩体来说,其强度不同于岩石(完整岩块)的强度,也不同于结构面的强度,岩体的强度受岩石强度、结构面强度、岩体结构、岩体赋存环境等多种因素的控制,其强度较岩石块体强度低。对软弱围岩来说,导致其强度较低的原因主要有以下三点:

(1) 岩石强度低

根据我国工程岩体分级标准、岩土工程勘察规范、铁路隧道设计规范等资料,一般将单轴饱和抗压强度低于 30MPa 的岩石称为软质岩或软岩。软质岩主要包括未成岩的岩石、已风化的岩石以及含有软弱矿物的岩石。未成岩的岩石,也即尚未固结的岩石,其范围大致是新第三系以后的低固结、未固结的砂岩、泥岩,以及形成一部分冲积层的砂质土、砾质土、火山灰等未固结的以及固结度低的岩石,统称为未固结岩石。已风化的岩石是指由于风化作用而使强度降低的岩石,包括全风化的各类土。含有软弱矿物的岩石主要包括泥质岩组,含煤岩组,含盐、含石膏岩组,云母片岩、滑石片岩组等。

(2) 岩体破碎

对于一些坚硬的岩石,如坚硬的岩浆岩、石灰岩、砂岩等,虽然其岩石强度较高,但若受到强烈的构造运动影响,导致节理、裂隙、断层等结构面发育,特别是结构面充填软弱充填物的场合,会造成围岩强度降低很多,其自稳性变差。

(3) 围岩赋存环境差

隧道围岩由于赋存于富水、地应力等不良地质环境中,而易引起涌水、塌方等地质灾害,赋存于这种地质环境下的围岩也可称为软弱围岩。

总之,这里指的软弱围岩,包括软弱、破碎、富水等不良地质条件下的围岩,但不包括岩溶、瓦斯等特殊的围岩。从围岩级别上看,这类围岩,基本上属于 V、VI 级围岩,对大断面和特大断面隧道(隧道开挖断面积大于等于 100m² 小于

140m² 的称为大断面隧道,开挖断面积大于等于 140m² 的为特大断面隧道),也包括一部分 IV 级围岩在内。

目前,人们普遍采用的软岩定义为地质学描述的范畴,即地质软岩和工程软岩。地质软岩是指强度低、孔隙度大、胶结程度差,受构造面切割及风化影响显著或含有大量泥质、炭质、膨胀性黏土矿物的松、散、软、弱岩层。工程软岩是指在工程力作用下能产生显著塑性变形的工程岩体,具有软、弱、松、散等低强度的特点,承受荷载的能力极低,一定地应力水平(或埋深)条件下,隧道施工极易产生较大的施工变形。简单地说,隧道软弱围岩就是用通常的初期支护及简易的小导管支护不能控制开挖后的围岩变形,而需要采用“有针对性地控制变形对策”(即所谓的辅助工法)的围岩。

1.2 软弱围岩隧道施工主要技术问题

隧道开挖后,地应力将重新分布。由于软岩强度低,对工程扰动极其敏感,在受拉或受压条件下将产生塑性区,使围岩和支护发生变形。一旦施工方法和工程措施不当,将极易发生初期支护变形侵限或者隧道坍方等工程灾害。

从隧道开挖后的围岩变形看,在软弱围岩中开挖,经常出现以下力学现象,如:

- 拱顶崩塌;
- 掌子面失稳;
- 底鼓现象严重;
- 长时间的持续变形,或变形不收敛;
- 初期支护严重变异;
- 在富水条件下出现异常涌水,围岩流失等。

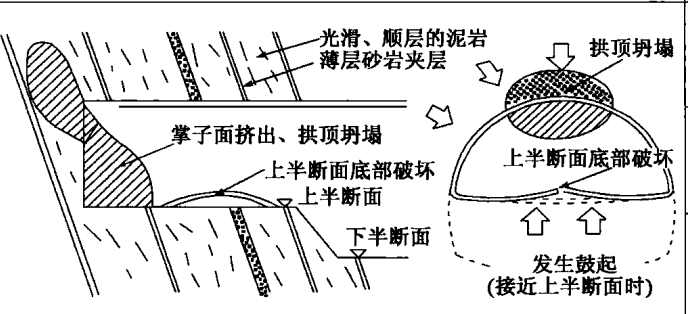
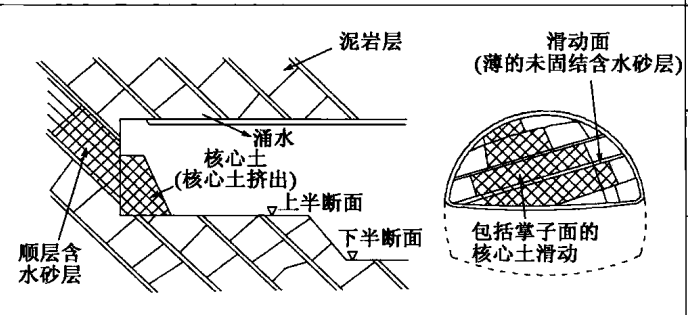
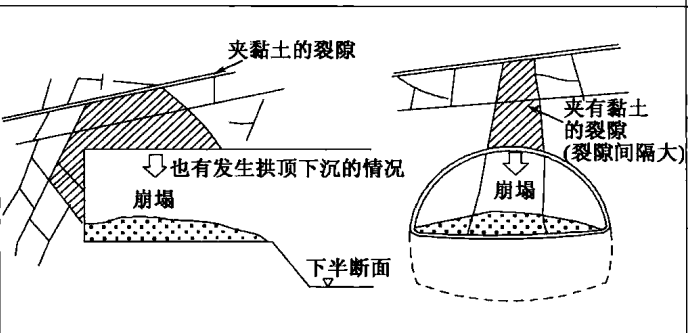
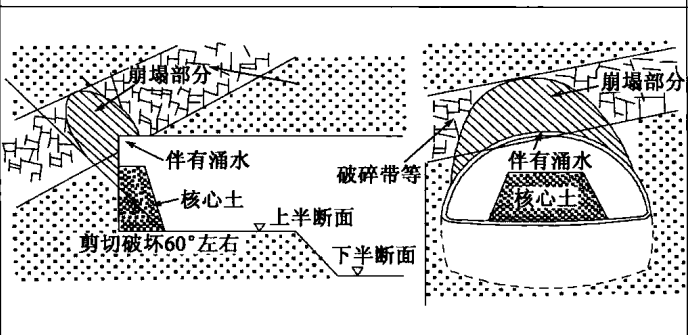
综合上述,在软弱围岩地质条件下,其变形的终极结果是造成现掌子面崩塌、拱部坍塌以及各种异常现象。表 1-1 和表 1-2 分别从不同角度,说明不同地质条件下的掌子面崩塌现象及注意事项。

因此,在这类围岩中施工必须根据隧道开挖后可能产生的变形实态,采取相应的技术对策,如:

- 采取预支护(加固)方法控制掌子面前方先行位移以及掌子面挤出位移的对策;
- 采取控制地表面下沉及拱脚下沉的技术对策;
- 采取控制掌子面后方量测位移的对策;
- 采取控制地下水的技术对策;
- 采取有针对性的观察、量测、前方围岩探查等技术对策。

掌子面崩塌现象以及掌子面观察时的注意事项

表 1-1

围岩状况	掌子面崩塌现象(代表性的)	关注的重点	
均质 相当于大致均质的围岩,第三纪的泥岩等膨胀性围岩		基岩的性质	◎
		裂隙程度和方向	△
		涌水	△
层理 相当于不同物性的地层形成的互层围岩,如泥岩、砂岩等		基岩的性质	○
		裂隙程度和方向	◎
		涌水	◎
节理 多为硬岩,因节理、裂隙等分割形成的不连续的围岩		基岩的性质	△
		裂隙程度和方向	◎
		涌水	○
强风化、破碎带 因断层、破碎带存在与周边局部劣化性质不同的围岩,如风化花岗岩		基岩的性质	◎
		裂隙程度和方向	△
		涌水	◎

注:◎——最重要;△——不太重要;○——比较重要。

崩塌现象的概念

表 1-2

崩塌现象的因素	代表性的地质	概念图	对掌子面稳定性的影响度	
起因于不连续面发育的崩塌	块状岩体： 中硬岩、软岩 火成岩类 砂岩、砾岩 层状岩体： 中硬岩、软岩 片岩类 页岩 黏板岩		基岩的性质	小
			不连续面的状况	大
			涌水的状况	大~中
起因于涌水的崩塌	断层、破碎带 土砂围岩 岩堆 洪积层		基岩的性质	大
			不连续面的状况	小
			涌水的状况	大
起因于掌子面挤出和低围岩强度的崩塌	层状岩体 软岩 凝灰岩类 泥岩 片岩类 蛇纹岩		基岩的性质	大
			不连续面的状况	中~小
			涌水的状况	中
	土砂围岩 岩堆等 洪积层 破碎带		基岩的性质	大
			不连续面的状况	小
			涌水的状况	大

而具有上述表现的地质条件,根据日本最近修订的隧道工程技术规范(山岭隧道篇)(2006年版)的规定有:

- 膨胀性、挤压性显著等围岩的隧道;

- 高压、大量涌水的隧道；
- 未成岩(固结)的土质围岩的隧道；
- 高热、温泉、有害气体的隧道等。

并要求在设计中,应根据各自的围岩条件,研究采用安全、经济的技术对策。

我国《铁路隧道施工技术指南》(TZ 204—2008),也规定了特殊岩土和不良地质地段隧道施工的原则,这些隧道包括以下围岩条件下的隧道。

- 富水软弱破碎围岩；
- 岩溶；
- 风积砂和含水砂层；
- 膨胀岩；
- 瓦斯；
- 挤压性围岩等。

此外,在围岩强度应力比很小的地质条件下,也常常具有上述的复杂地质特性。

1.3 软弱围岩隧道修建技术的发展方向

软弱围岩隧道修建技术的发展方向主要有以下几点。

①机械化

机械化是隧道修建技术的发展方向,也是软弱围岩隧道修建技术的发展方向。机械化是加快施工速度、提高施工效率、保障施工安全的重要措施,也是隧道施工技术进步的体现。特别是,提高控制变形技术的机械化水平,是当务之急。

②快速施工,开挖断面及时闭合

隧道由于其特殊的施工作业环境,导致其施工速度缓慢,往往成为控制工期的关键工程,而软弱围岩隧道尤其如此。因此,快速施工是软弱围岩隧道修建技术的发展目标。这里所谓的快速施工,就是要求隧道开挖后的断面能够在尽可能短的时间内快速闭合。因为软弱围岩的蠕变特性使其变形持续时间长,如果施工速度缓慢,支护形成封闭的时间长,就容易出现大的变形,甚至过度松弛而塌方。因此,快速施工是提高软弱围岩隧道稳定性的基本要求,也是软弱围岩隧道的施工原则。

③新材料、新工艺、新技术、新机械的大量采用

随着科学技术的不断发展,各种新材料、新工艺、新技术以及新机械不断应用到隧道施工中,特别是要针对开挖后隧道变形的特征,采用能够作业迅速、性能可靠、施工简易的新工艺、新技术,以便更加有利地控制软弱围岩隧道的变形,

促进隧道施工技术的发展。

④重视超前支护(预加固)技术的应用

软弱围岩隧道变形的一个主要特征是掌子面前方围岩变形较大,因此采用超前支护(预加固)技术对策控制掌子面前方先行位移是必要的。我国隧道修建过程中对超前支护重视不足,往往是出现了较大变形后方才加强支护措施,这些措施多是掌子面后方的、补救性的支护措施。对于软弱围岩来说,加强掌子面前方围岩预加固技术的研究和开发,是当前软弱围岩隧道施工技术研究的主流。

⑤针对软弱围岩变形特点,提高、改进量测和超前地质预报技术的作用,充分利用其数据,指导设计和施工。

第2章 软弱围岩的地质特征及其评价

隧道围岩不同于钢筋、水泥等一般的材料体,也不同于完整的岩石,它是地质体的一部分,其中存在着断层、节理、层面等各种不连续面和充填物,围岩在这些不连续面的切割下,形成一定的岩体结构并赋存于一定的地质环境之中,因此围岩在力学作用下的变形和强度特征要比一般的材料复杂得多。而软弱围岩由于其岩石强度低、岩体破碎、赋存环境差等特性,使其力学特征又与一般的围岩存在较大差异。

2.1 软弱围岩的变形特征和力学机制

2.1.1 软弱围岩变形特征

围岩变形是评价隧道围岩稳定性的重要指标,也是隧道设计的基本准则之一。隧道开挖后,围岩变形大致经历三个阶段:(1)弹性变形阶段;(2)弹性变形和塑性变形共存阶段;(3)以蠕变为主,蠕变、塑性变形共存,同时围岩发生损伤、断裂、挤出及膨胀耦合作用阶段。坚硬围岩以弹性变形和塑性变形为主,而软弱围岩则以塑性变形和蠕变变形为主。

软弱围岩的变形特征,主要包括以下几点。

(1) 变形量大

隧道开挖后,能够产生显著的塑性变形是软弱围岩最主要的显性特征。实测数据表明,软弱围岩洞壁位移可达数十厘米,甚至100多厘米,往往表现为初期支护严重破裂,如喷混凝土开裂脱落、钢架扭曲,甚至引起二衬混凝土的开裂。软弱围岩的大变形已在很多隧道中发生,如兰武二线乌鞘岭隧道岭脊地段最大水平收敛达1053mm,最大拱顶下沉达1209mm;青藏西格段增建二线关角隧道I线隧道最大水平收敛变形达460mm,II线隧道最大水平收敛变形达410mm,最大拱顶下沉367mm;兰渝线两水隧道最大拱顶下沉达757mm,最大水平收敛达499mm;贵广线天平山隧道2号斜井工区最大拱顶下沉379mm,最大水平收敛344mm。

(2) 变形速度快

坚硬围岩在隧道开挖后,变形很快达到稳定状态,其变形速率很小,而软弱

围岩隧道开挖后,变形速率较大,特别是初期变形速率大,如关角隧道、两水隧道和天平山隧道初期变形速率最大分别达 50mm/d、60mm/d,41.2mm/d。

(3) 变形时间长

软弱围岩不仅初期的变形速度快,而且延续时间长,具有明显的蠕变变形特征。众多研究表明,软弱围岩隧道开挖后一般很长的时间内,支护或衬砌上的压力一直在变化,这可解释为软弱围岩蠕变的结果。花岗岩、砂岩等坚硬岩石蠕变变形很小,且在很短时间内趋于稳定;而页岩、泥岩等软弱岩石的蠕变变形非常明显,如图 2-1 所示,可见软岩的蠕变特性对隧道围岩的变形及其稳定性影响显著。

(4) 围岩扰动范围大

软弱围岩隧道周边的塑性区扩大,特别是支护不及时或结构刚度、强度不当时,围岩扰动范围更大。一般锚杆长度达不到弹性区,这常是喷锚支护失效的原因之一。

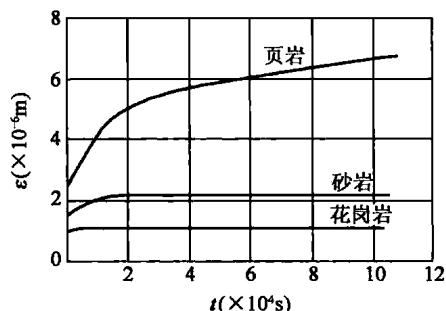


图 2-1 坚硬围岩与软弱围岩蠕变特征的区别
(10MPa 的应力和室温下,页岩、砂岩和花岗岩的典型蠕变曲线)

(5) 径向变形特征明显

径向变形一般表现为拱顶下沉、边墙内挤、隧底隆起,位移基本指向隧道开挖面等价圆圆心方向。软弱围岩径向变形大的主要原因是其泊松比 μ 较大,或者是围岩强度应力比值小。

对于隧道而言,泊松比 μ 较大或围岩强度应力比较小时,都会引起隧道围岩发生较大的径向变形。

(6) 压力增长快

围岩压力随开挖时间而迅速增大,在很短的时间内,围岩即与支护结构接触,产生较大的围岩压力。如果施工方法和支护措施得当,支护封闭后变形就应得到控制;反之,即使支护封闭后,变形还会发展,以致支护发生破坏。因此,施工阶段控制较大变形的发展,是软岩隧道施工的关键。

2.1.2 软弱围岩变形力学机制

软弱围岩变形的力学机制主要与软弱围岩的类型及其所处的地质力学环境有关,一般可分为塑性挤出和膨胀挤出两种变形机制。

(1) 塑性挤出变形机制

塑性挤出变形是指隧道开挖引起的重分布应力超过围岩的屈服强度而使围岩发生塑性变形。与坚硬围岩相比,软弱围岩由于强度低,且具有明显的蠕变特性,因此,即使在较小的应力水平下,软弱围岩也易发生持续性的大变形。对于易发生塑性挤出变形的软弱围岩,隧道施工一般可采用以下两种手段:

- 采用注浆等预加固技术,提高软弱围岩的强度;
- 加强支护的刚度和初期强度,改善围岩的受力状态。

由于塑性挤出变形在掌子面前方就已经开始,因此,对于这类软弱围岩,不管采取何种手段,都应该尽早、尽快实施,尤其是掌子面前方围岩的预加固和预支护,对控制塑性挤出变形是至关重要的。

(2) 膨胀挤出变形机制

膨胀挤出变形是指围岩中含有膨胀性矿物,如蒙脱石、伊利石、高岭石,这些矿物和水反应而发生膨胀,使围岩发生变形。发生膨胀变形的围岩在开挖之前一般都具有较高的强度,变形主要发生于隧道开挖后,受开挖扰动、风化、水化等因素的影响而使围岩发生软化。这类隧道施工中,围岩怕风、怕水、怕扰动,因此,隧道开挖时应尽量做到以下三点:

- 减少施工用水,防止围岩长时间浸泡在水中;
- 减少开挖分部、简化施工工序,降低施工对围岩的扰动;
- 缩短围岩暴露时间,及时封闭,采用“快挖、快支、快封闭”的快速施工技术,减少围岩的风化。

2.2 软弱围岩的强度特征

围岩的强度是指围岩抵抗外力破坏的能力,其包括抗压强度、抗拉强度和抗剪强度。对于隧道而言,不同部位的围岩所处的应力状态各异,有的部位以压应力为主,则应考虑围岩的抗压强度,有的部位以拉应力为主,则应考虑围岩的抗拉强度。当隧道开挖后,围岩重分布应力超过了围岩的强度,则将出现压溃破坏、拉裂破坏或剪切破坏,以及压剪或拉剪的混合破坏模式。

围岩的强度不同于岩石的强度,也不同于结构面的强度,围岩的强度是指包含结构面的岩体的强度,因此,围岩的强度受岩石强度、结构面强度、岩体结构、岩体赋存环境等因素的控制。

从以上对围岩强度的分析可知,围岩强度主要受岩石强度、围岩的完整性系数以及结构面的特征等因素影响。

对于软弱围岩,其强度特征如下:

①软弱围岩的强度随岩石强度的降低而降低。当围岩的完整性及结构面特征恒定时,则围岩的强度和岩石的强度呈线性变化。

②当构成围岩的岩石强度恒定时,围岩的强度随围岩的完整性系数减小而降低,即围岩越完整,围岩强度越接近岩石的强度,围岩越破碎,围岩强度越小。

③当围岩中存在控制性软弱结构面时,如存在断层、挤压破碎带,则围岩的强度受结构面产状与洞轴关系以及结构面强度两个因素的影响。

④软弱围岩的强度对地下水影响较敏感,地下水对软弱围岩有显著的软化和泥化作用。地下水对软弱岩体的软化和泥化作用主要表现在对岩体结构面中充填物的物理性状的改变上,岩体结构面中充填物随含水量的变化,发生由固态向塑态直至液态的弱化效应,使得软弱围岩的力学性能降低,凝聚力和内摩擦角值减小,围岩变形量大,稳定性降低。

2.3 软弱围岩的分类及评价

软弱围岩属于软岩的范畴,因此软弱围岩的分类及评价可采用软岩的分类及评价方法。

2.3.1 软岩的地质分级

根据《工程地质手册》关于岩石按照坚硬程度分类中,软质岩可分为较软岩、软岩和极软岩三级,中科院地质与地球物理研究所伍法权等根据隧道工程实践中遇到的新的围岩介质,在软岩和极软岩类的代表性岩石中补充了特殊岩土体类型,如表 2-1 所示。

软质岩按坚硬程度等级划分表

表 2-1

定性值	单轴饱和抗压强度 (MPa)	定性鉴定	代表性岩石
较软岩	$15 < R_c \leq 30$	锤击声不清脆,无回弹,较易击碎;浸水后,指甲可刻出印痕	1. 强风化的极硬岩; 2. 弱风化的硬岩; 3. 未风化~微风化的凝灰岩、千枚岩、砂质泥岩、泥灰岩、泥质砂岩、粉砂岩、页岩等
软岩	$5 < R_c \leq 15$	锤击声哑,无回弹,有凹痕,易击碎;浸水后,手可掰开	1. 强风化的坚硬岩; 2. 弱风化~强风化的硬岩; 3. 弱风化的较软岩; 4. 未风化的泥岩等; 5. 遇水软化岩石:云母片岩、炭质板岩