

隧道变形及其控制技术（4）

涌水对策及围岩补强

（一）涌水对策

隧道施工中最大的难题是对地下水的处理。因此，在遇到涌水的场合，首先要“治水”，才能谈到其它，这是不言而喻的。

地下水是造成掌子面不稳定的因素之一，围岩遇水后的强度降低，粒子间的有效应力减小，土的抗剪强度减少等都是造成掌子面不稳定的原因。这些问题在土砂围岩中尤为严重。

伴随涌水造成掌子面不稳定的现象，是一个起因于水的流动问题。流出的地下水流速超过保持围岩稳定的极限流速 v 后，掌子面就处于一种流沙状态，完全丧失了自稳性。因此在隧道中地下水对策的概念是用 Darcy 法则的地下水流速 v 和渗透系数 k 及动水坡度 i （=水头 h /水平距离 l ）的关系 $v=k \cdot i=k \cdot h/l$ 表达的。

（1）涌水对隧道施工的影响

采用矿山法在比地下水位低的位置开挖隧道时，通常在开挖地点产生自由水面，发生涌水是不可避免的。由涌水产生的问题可列举如下。

1）伴随涌水，掌子面的稳定性降低；

矿山法施工是以掌子面自稳为前提的，但在裂隙发育的脆弱围岩和土砂围岩中，涌水会使掌子面稳定性降低，易于发生拱顶和掌子面的崩塌。

2）伴随涌水，隧道的支护质量降低；

涌水使喷混凝土与围岩的附着变差，锚杆的锚固材料易于流失，造成支护质量降低。

3）基底泥泞化

施工中，隧道的底部的含水比高，施工机械的走行扰乱基底使之泥泞化，造成作业效率和安全性降低。泥泞化显著的场合也会造成支护下沉等，对隧道的稳定性的影响是不能忽视的。

4）因地下水位降低使地层下沉

地下水位下沉会使地层产生压密下沉，也会对地表面结构物产生有害的影响。地下水位降低因比地表面下沉的范围广，不仅在隧道周边，甚至离开数百米的位置，在粘性土的场合，也会产生压密下沉。

5）地下水位降低造成井户枯竭。

（2）涌水对策的种类和适用性

涌水对策，大体上积极进行排水的地下水位降低方法（排水工法）和降低地层渗透系数减少涌水的方法（止水工法）两大类。选定涌水对策时，除维持掌子面自稳性外，与对地表面的影响也有关系。

一般说，山岭隧道中通常采用的地下水对策见表 5.1。

表 5.1 隧道涌水对策和主要使用条件

分类		工法	主要适用条件
排水工法	重力排水工法	排水坑道	大量、高压、未固结围岩
		排水钻孔	适用所有条件
		井点	小埋深、未固结围岩
	强制排水工法	管井	水位降低 5m 以下
		真空井点	小埋深、未固结围岩
复水工法		补给复水工法	不容许地下水位降低的场合
止水工法	地层固结工法	药液注浆工法	
		冻结工法	
	止水壁		
	压气工法		

选定涌水对策时可按图 5.1 的流程进行研究。

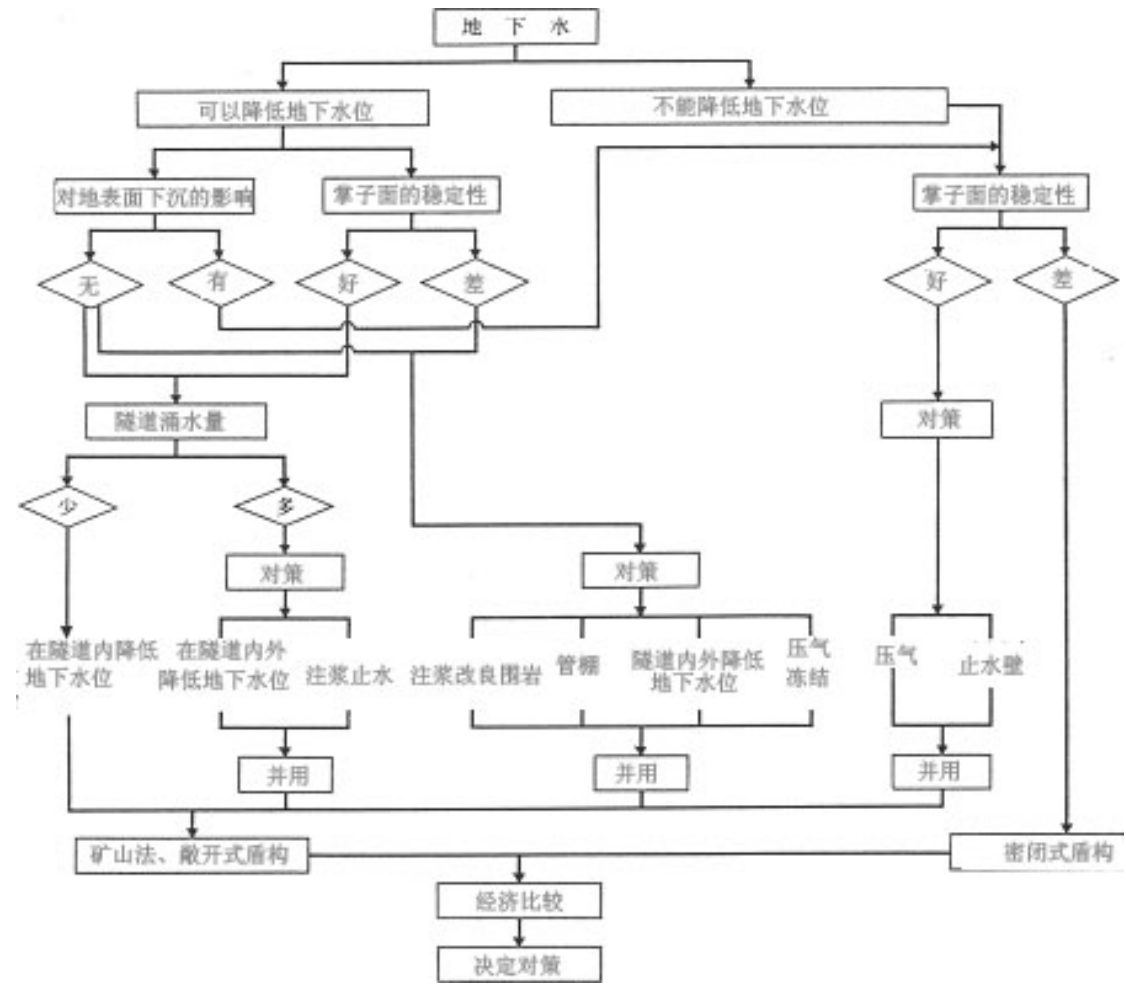


图 5.1 隧道涌水方法的研究流程

选择那一类方法除考虑埋深、涌水压、水源等条件外，还要考虑环境影响等条件。

一般说，因为降低地下水位对围岩稳定性的效果比较高，因此在涌水对策中，都优先选择排水工法。同时也能够缩减开挖成本和提高施工的安全性。

在选择上述对策时，首先要进行详细的涌水调查，掌握地下水的动态和水量的大小及动向。要考虑围岩条件、涌水量、埋深、周边环境条件等综合因素决定。

1) 围岩条件

- 地质构成、构造（含水层的赋存状况等）；
- 涌水量
- 涌水区间的长度；
- 埋深等

2) 周边环境条件

- 有无近接结构物等；
- 周边水利用情况；
- 洞外排水径路的能力等。

（3）排水工法

排水方法有利用重力的自然排出的排水钻孔、排水坑道以及利用井点的强制排水方法。其选择可参考图 5.2 的流程进行。

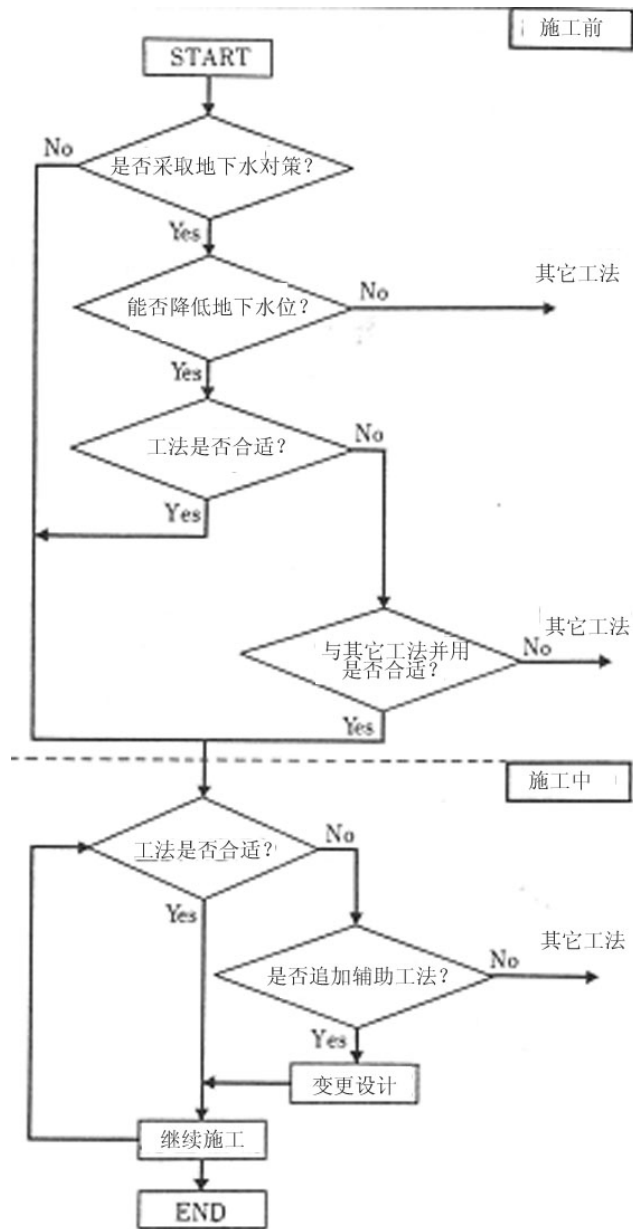


图 5.2 地下水位降低工法的研究流程

地下水位降低对策有利用排水钻孔和排水坑道的自然排水和利用井点和深井点等强制排水两大类。

图 5.3 表示强制排水对策的设计步骤。

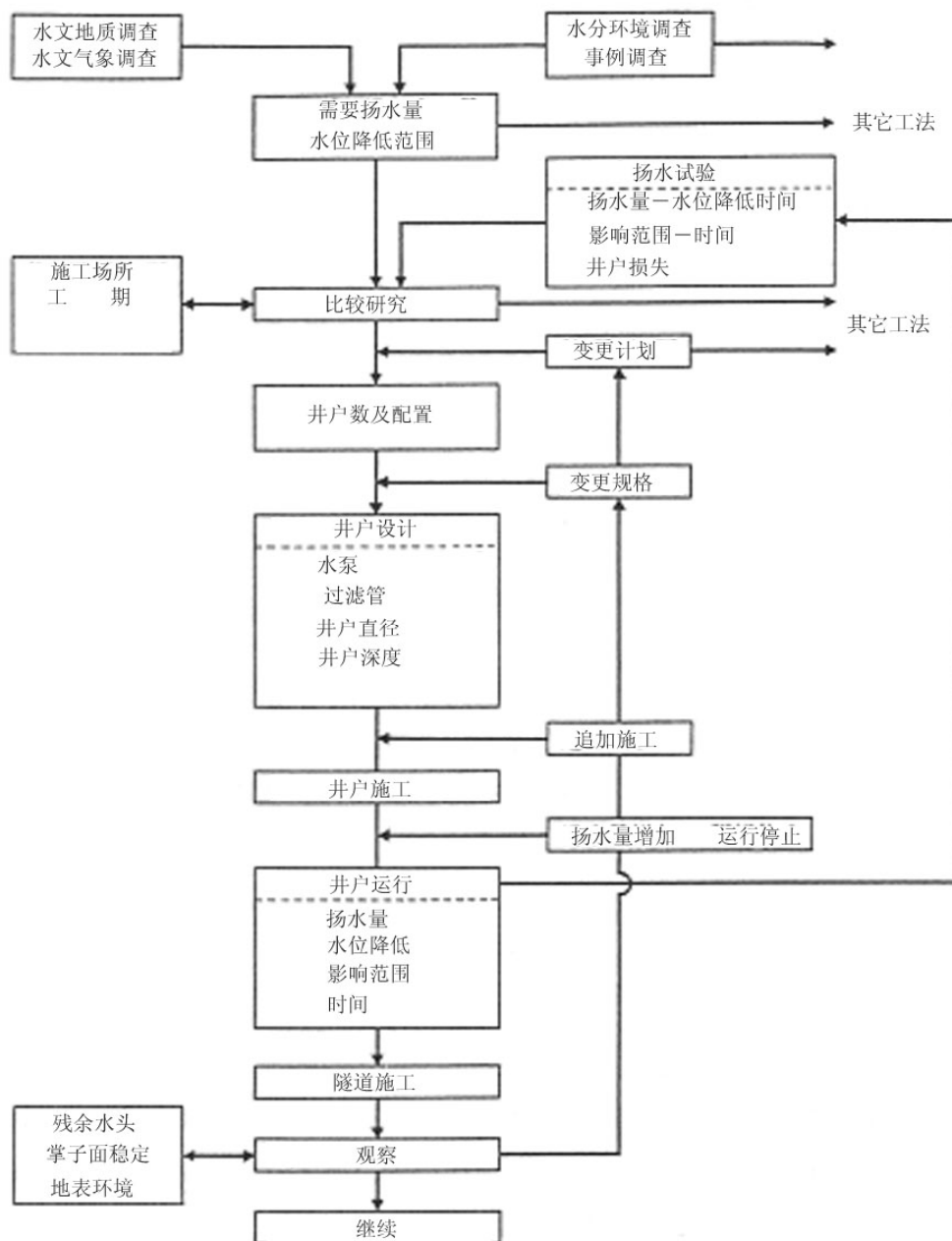


图 5.3 强制排水对策的设计步骤

在排水工法中井点和管井是用真空泵作用在排水管前端的负压，强制排出地层中的地下水的方法。因能够缩短降低地下水位的时间，与其它工法比较，在渗透系数小的细砂～粉细砂是适应的。

排水工法的选择最重要一点是：是否适合该地质条件和地下水状态。地下水位降低工法是利用水位差使地下水流动的方法，因此，掌握地下水的赋存形态（裂隙水、地层水）和围岩的渗透性是很重要的。地层水与构成地层的土粒子的粒度、组成，渗透性有密切关系。图 5.4 是重力排水对策能够适应的土的粒度范围。

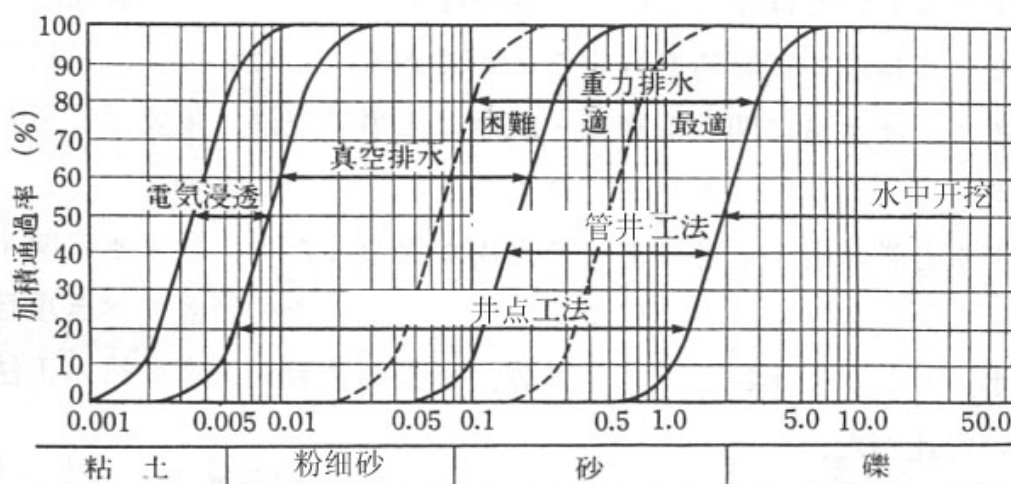


图 5.4 排水工法的适用范围

采用排水工法时，除考虑埋深、涌水压、水源等，还要考虑地上的状况、周边环境等外部条件。对围岩稳定性来说，降低地下水位的效果是最高的，排水工法比止水工法在缩减开挖成本上、提高施工安全上是比较有利的。隧道埋深小而且涌水量少的场合，与隧道开挖能够并行作业的、经济的井点和管井法也是有利的。隧道埋深大而且涌水量也大的场合，从洞内采用排水钻孔、排水坑道及轻型井点等也是可靠性比较高的。排水时要充分注意细粒成分的流失。未固结的砂质围岩，均质系数在 5 以下细粒成分在 10% 以下的场合，由于涌水掌子面易于变得不稳定。从上半断面进行排水时，也要注意因地质条件会出现掌子面松弛的现象。

过度的排水，会使围岩的含水量极端降低也有造成掌子面崩塌的可能。要仔细观察掌子面状态管理好地下水位和排水量。

5.5.1 排水坑道

(1) 概述

排水坑道是以主洞开挖前先行排出地下水为目的，在主洞外施工的。本法适用以下条件。

1) 断层背后保持大量而且高压的地下水，预计形成突发涌水的场合或者主洞施工因围岩流失而施工困难的场合（迂回坑道）。

2) 在洪积砂层等文化局围岩中，全线需要降低地下水位的场合。

前者的场合，通常与排水钻孔并用（从侧壁向掌子面前方施工），边施工边前进。也有利用其最前端作为排水钻孔基地的场合。

后者的场合是在隧道断面外用排水盾构先行施工主洞，或在主洞断面内设下导坑的情况。

应该说，在主流的辅助工法中，这是处理有高水压作用的隧道的基本方法。在设计和施工中，采用排水坑道时应注意以下问题。

1) 在排水没有障碍的范围，比主洞断面稍低的位置设置排水坑道；

- 2) 要设置在对主洞施工没有以下的距离外（根据围岩条件约为 2~3D 左右）；
- 3) 采用施工上可能的最小断面，要考虑排水钻孔等，研究合适的断面；
- 4) 必要时采用辅助工法施工。

下面举例说明排水坑道的应用。

1) 高压涌水时的应用例

隧道：飞弹隧道

隧道长度：10.7km（TBM 和矿山法）

地质条件：强破碎流纹岩及粘土化带

排水工法：排水坑道、排水钻孔

图 5.5 是避难坑道及排水坑道的平面图。

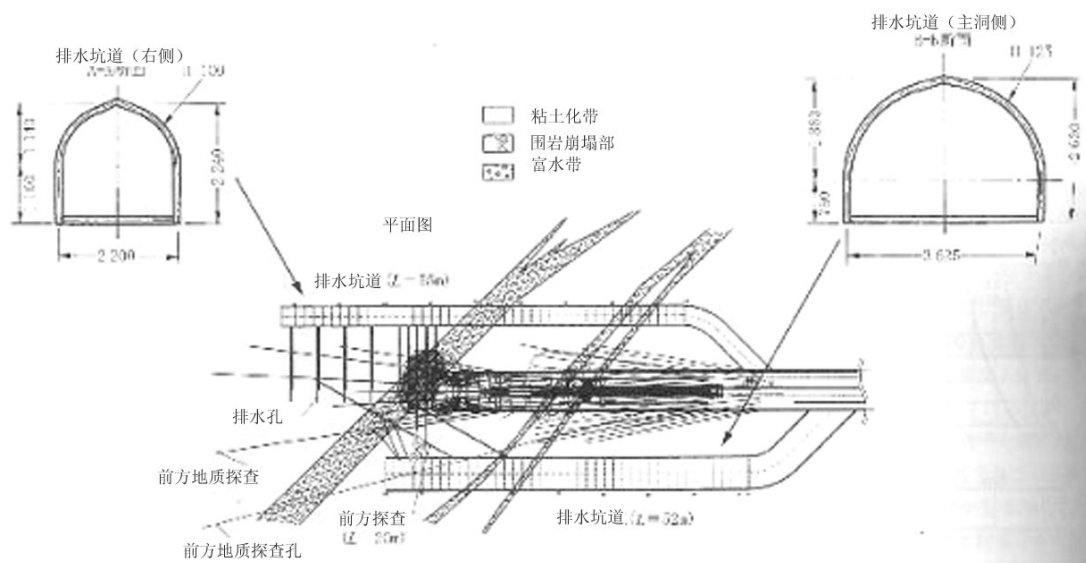


图 5.5 排水坑道的断面及平面图

TBM 施工中在粘土带中发生崩塌约束了机械，但对 2t/min 的涌水实施注浆，没有改善围岩状况，因此在其左右施工排水坑道，降低地下水位。在线路右侧，用小型 TBM 向主洞方向掘进 2m² 的排水坑道，在左侧用矿山法开挖一个 8m² 的排水坑道。利用排水坑道中的排水钻孔进行排水。

2) 先行排水盾构

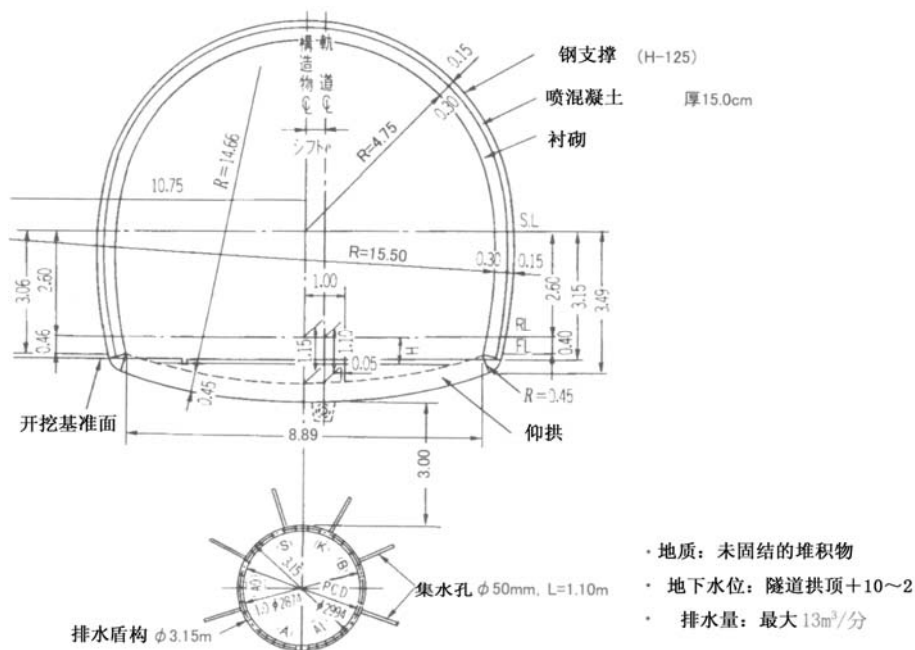
隧道：借宿隧道；

隧道长度：2005m；

地质条件：未固结堆积物；

排水工法：用盾构施工的排水坑道

图 5.6 是主洞及排水坑道的断面图。



5.5.2 排水钻孔

在隧道掌子面前方钻 50~200mm 的先行钻孔,降低掌子面到达前的地下水位(重力排水)。从硬岩到土砂都可采用,适用范围极广。

排水钻孔因长度（长、短）不同，施工方法（施工位置、施工机械）也不同，其应用根据排水钻孔的目的而定。

- 探孔

每隔 1~2 天, 进行一次, 根据地质调查预测含水层的存在。

- ### • 短 钻 孔

不妨碍隧道开挖，利用 1 周一次的作业间歇时间，钻设 20~50m 的钻孔（超过 1 周的进尺长度）

- ## • 长钻孔

周期地利用掌子面停工期间进行长钻孔的施工或者扩宽靠近掌子面的钻机机座, 或者从支洞与掌子面并行进行钻孔施工。要求施工长度在 200m 以上。

进行排水钻孔设计最重要一点是：预测和施工才的性状或者假定含水层的性状，并考虑合理的排水量及其影响范围来决定施工长度。

图 5.7 是一个水工隧洞决定涌水对策的流程。

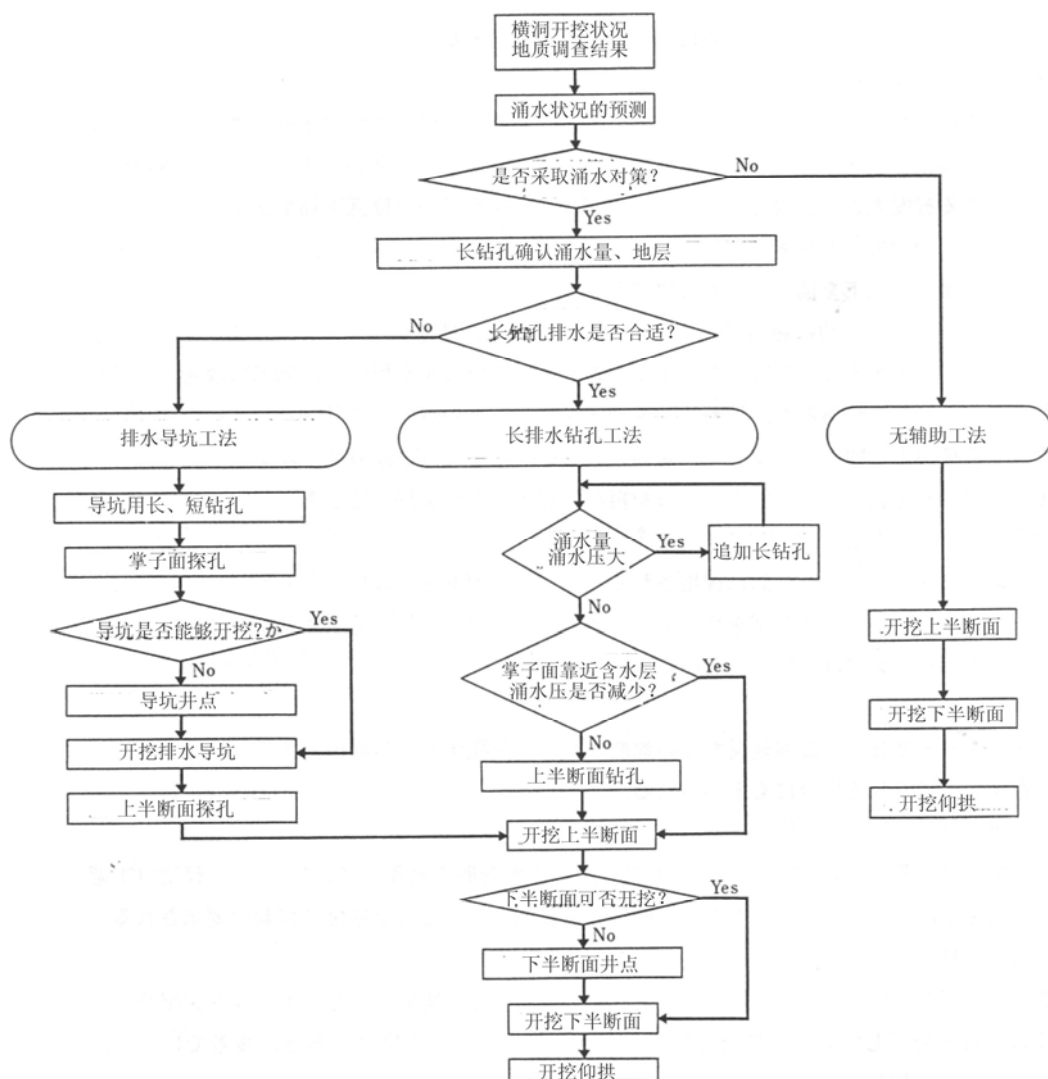


图 5.7 以涌水对策为中心的施工管理流程

表 5.2 列出排水钻孔的目的和规格例。

表 5.2 排水钻孔的目的和规格

长度 (m) 直径 (mm)	主要目的	施工方法概要
300~500 φ 216~86	<ul style="list-style-type: none"> 兼地质调查的长排水钻孔 早期对应的突发涌水 	<ul style="list-style-type: none"> 设置钻孔基地 采取岩样
50~100 φ 101	<ul style="list-style-type: none"> 正常的涌水处理 地质调查 	<ul style="list-style-type: none"> 从侧壁向斜前方实施
50m 以下	<ul style="list-style-type: none"> 比较好围岩的探孔 	<ul style="list-style-type: none"> 在掌子面施工

$\phi 65$	• 含水断层等	• 液压泵
-----------	---------	-------

排水钻孔最重要一点是尽可能地不让围岩的细颗粒随涌水流出。特别是在未固结围岩中这是发生围岩松弛的主要原因，因此要采取在内管设置滤网，外管周围加以密封等对策。

排水钻孔的钻孔视钻孔长度可采用钻机或液压凿岩机进行，但一般长度在 30m 以内可采用液压凿岩机，超过 30m 要采用钻机。采用钻机的场合，要兼做地质调查，但长钻孔为减轻与围岩的摩擦力可采用钻孔直径分段的方法（表 5.3）。

表 5.3 钻孔直径分段例

钻孔深度 (m)	钻孔直径 (mm)	摘要
0~15	236	—
15~150	172	外管钻头
150~350	136	外管钻头
350~500	112	外管钻头

图 5.8 是高压涌水地带排水钻孔施工例

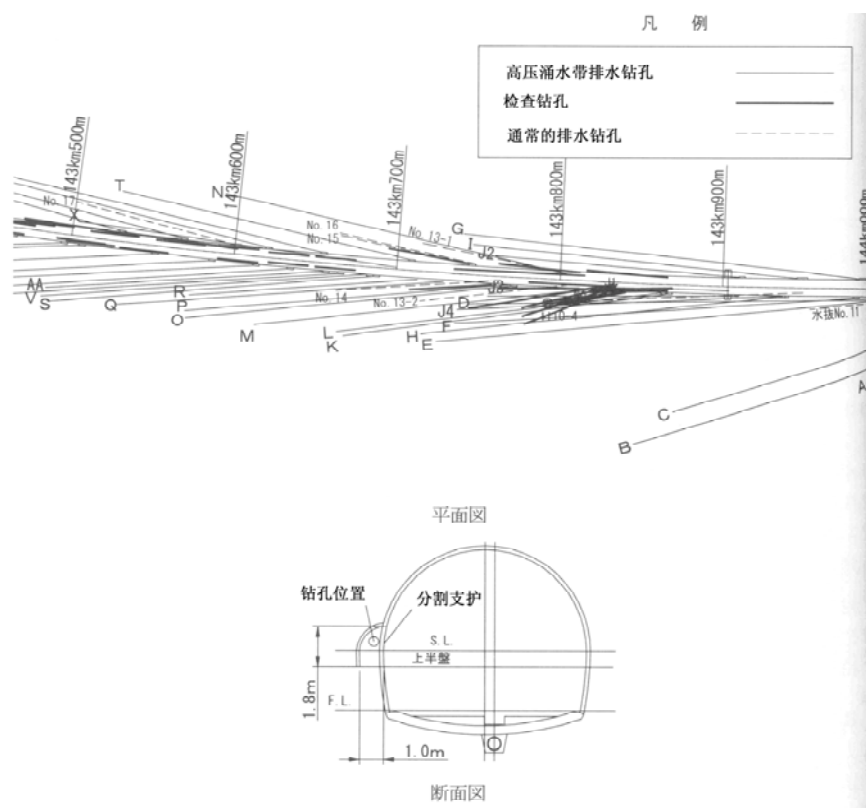


图 5.8 高压涌水地带排水钻孔施工例

饭山隧道富仓工区属于富水地段，因此采用长短钻孔配合的方法进行探水。

长钻孔长约 100~200m，短钻孔约 15~20m。长钻孔的布置一般如图 5.9 所示，钻设在隧道的两侧。短钻孔钻设在掌子面中，如图 5.10 所示。

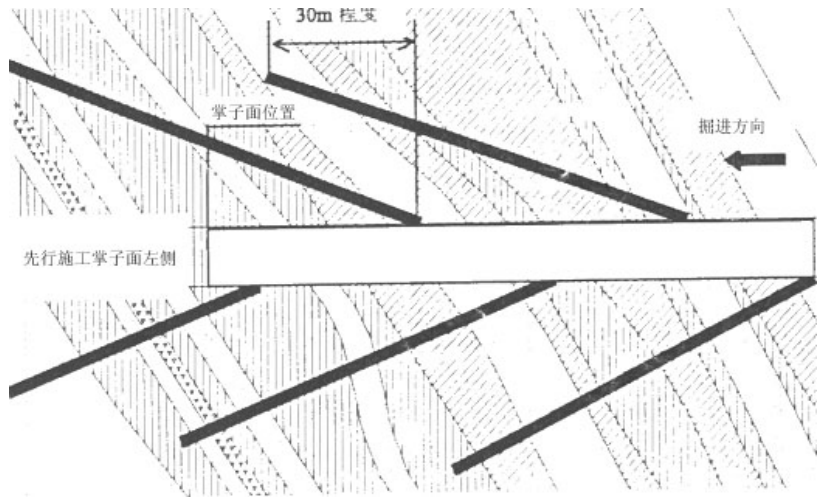


图 5.9 长钻孔示例

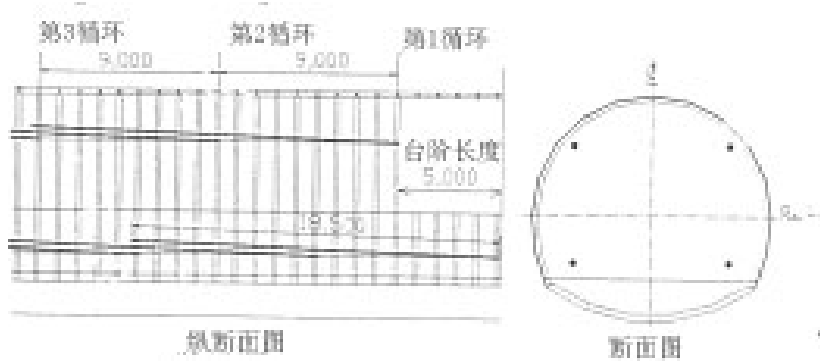


图 5.10 短钻孔示例

5.5.3 井点

(1) 概要

从地表开挖井户，用水中泵排出地下水的方法，能够在隧道施工前施工。有易于管理等优点。真空井点，是把真空泵的负压作用在过滤部分，对地下水强制排水，是用水中泵排水的方法，是在隧道施工前能够施工的而且比较易于管理的工法。井点必须相互连协设置，因此在地表有建筑物的场合，要特别考虑好其配置。采用本工法时，要综合研究围岩的粒度分布、渗透系数、扬程、排水量等，但判断需要高扬水能力的场合，可采用在过滤部分用真空泵形成负压的方法。

与通常的井点工法比，排水能力高。降低地下水位比较大，对周边的地下水环境影响也大，因此，井点的外侧有时要设置能够供给地下水的补给井点。

(2) 井点的设计和应用例

井点法在排水对策中与其它方法比，施工机械是轻量的，也易于实施。口径约 50~80mm 滤管与集水管设置到地下水水面以下，用真空泵吸引土粒子孔隙的水，此工法适用于渗透性比较大的砂层到粉细沙等渗透系数小 (10^{-4}cm/s) 的土质。

井点的最大扬水量，视地质条件约在 1 根 70l/min 左右，但平均起来 1 根约在 30~40l/min。排水量受到一定限制。为了获得降低水位需要的扬水量，设置间隔应在 1~3m 以内，根据排水地域的形状、要求的水位降低值，可设单排或多排配置。1 台泵可接续 10~30 个井点。

采用井点法时要考虑以下得失，与其它工法进行比较或者并用。

【优点】

- 需要降低水位的场合，能够靠近掌子面设置；
- 施工比较简便，不妨碍开挖作业，同时扬水量不足时易于增设；
- 因用真空泵吸引，比重力排水的排水量大能够用于透水性小的地质；
- 如与导坑压气工法并用效果更好。

【缺点】

- 井点直径小，1 根的扬水量小；
- 1 段井点获得的水位降低在 6m 以下；
- 串联井点中只要有 1 个井点吸入空气，真空度就下降、效率降低，因此要进行管的管理；

- 含水层与不透水层分离，构成复层时，一般每个含水层都要设置；

根据地质情况，在洞内采用井点法时，期待其独立地发挥降低水位的效果，但与从地表施工的井点并用，效果更好。图 5.11 是与深井点法并用的排水方法。

图 5.12 是从超前的作业坑道设置井点降低水位的工法。

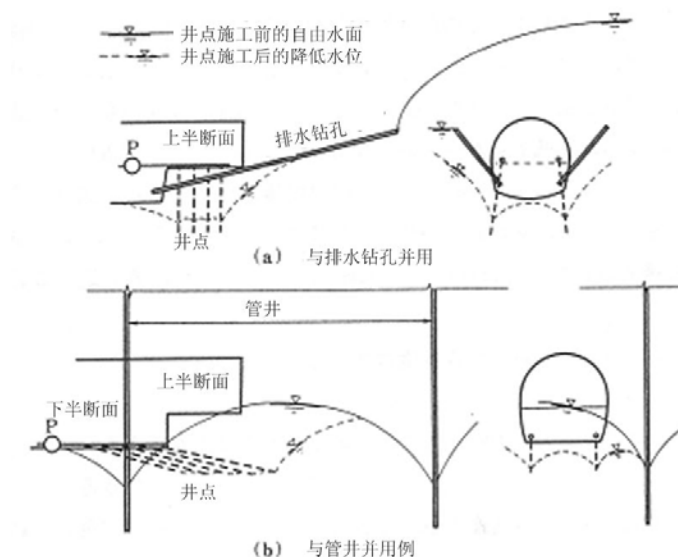


图 5.11 与管井法并用

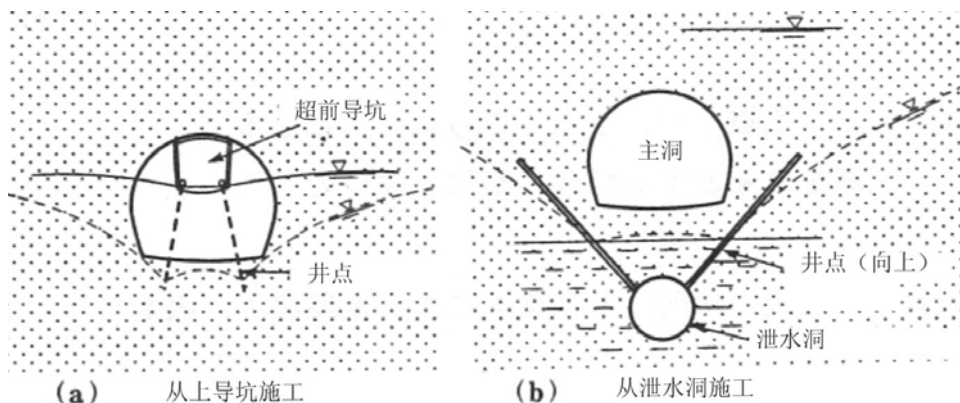


图 5.12 从超前坑道排水

未固结围岩采用的事例示于图 5.13。

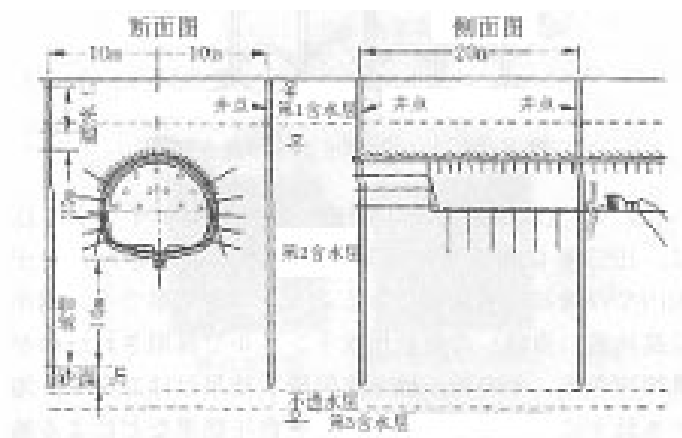


图 5.13 井点施工例

在环境对策上,要把排水处理的清水和污浊水分离。对周边环境影响大的场合,也可在井点范围外设置恢复地下水的补水井点。图 5.14 是埋深小的井点施工例。

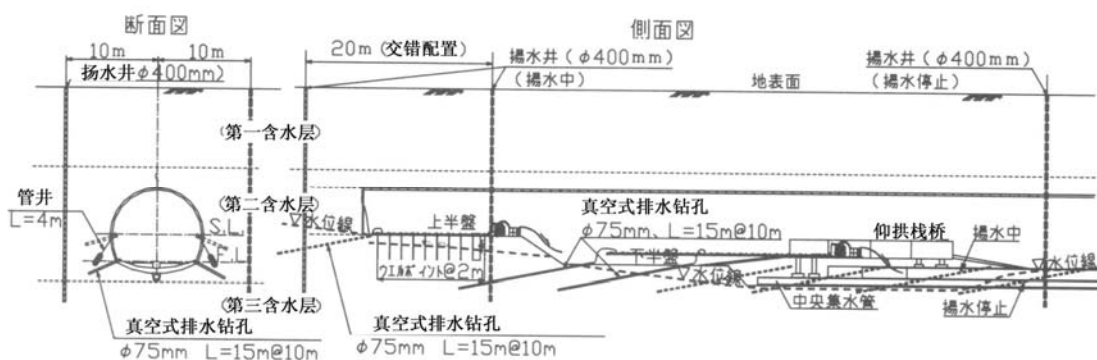


图 5.14 埋深小的土砂围岩中井点施工例

5.5.4 管井

(1) 概要

管井是把直径约在 2~2.5in., 长 0.7~1.0m 称为就是装置的井点, 安装在主管 (长 5~7m, 直径 1.5in.左右) 的前端, 用水流冲击地层, 真空吸引对指定区

域进行降低地下水位的工法。在隧道中，沿纵向开挖宽度的两侧，根据地质情况，每隔 1.0~4.0m 设置管井进行排水（图 5.15 和 5.16）。

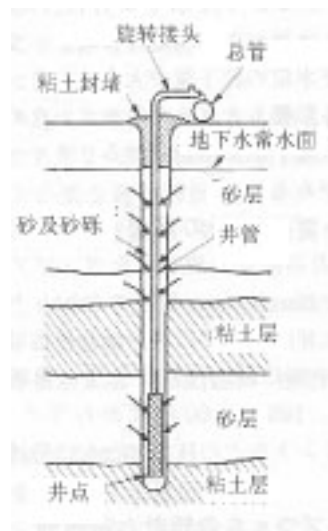


图 5.15 管井的概况图

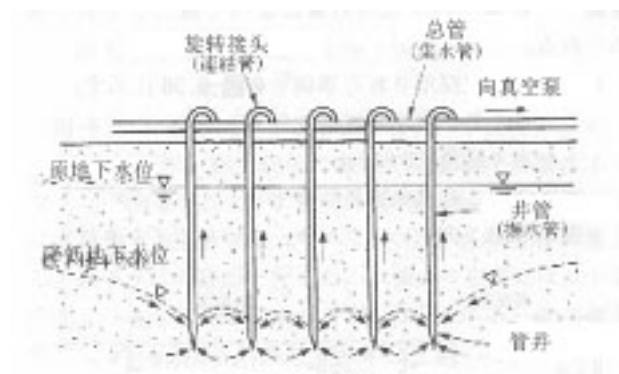


图 5.16 管井的概念图

一般可超前上半断面，但埋深小，地表面没有被利用的场合，也可以从地面上施工。本工法的适应场合应综合研究围岩的粒度分布、渗透系数、扬程、排水量等决定，但地层的适用范围比轻型井点工法大，可以在透水性稍差的地层中采用。在火山灰等场合，因上半断面会松弛。要加以注意。

管井单独使用不能获得效果的场合，可与井点并用。

管井法是在埋深比较小的位置，含有丰富的地下水的含水层中，从地表设置深井点的排水工法。特别是在竖井周边的特定区域采用的比较多。深井点法 1 个的扬水能力及水位降低量都比较大，影响范围也大，出现效果的时间也早。

管井法要采用大型钻孔机械，其孔径与水中泵直径、套管外径等有关。水中泵直径在 100mm 以上时，钻孔直径要在 300~600mm，钻孔深度由计算决定。设置间隔约 10~30m，视围岩透水性而异。

【优点】

- 与井点法比较，地下水位能够大幅度的、急速的降低；
- 即使地层是复层构造，也能够一举扬水；

- 可在开挖前从地表进行设置，与洞内作业不干扰，也能够确保要求的降低水位的时间；

- 从含水砂层到岩层裂隙水都适用。

【缺点】

- 由于地形限制可能有时候不能实现理想的配置；
- 在隧道这样的线状结构物的场合，从经济性上看，设置点数会受到制约；
- 除施工费高外，埋深大也会增加造价；
- 因为排水量大，视周边情况和地质条件，可能出现地层下沉和枯水现象；
- 在洞内施工的场合，只限于比地下水位高的水平施工，而且对作业有干扰。

(2) 管井的设计和应用例

管井设计要充分掌握以下特征。

管井的能力从真空排水看，理论上是 10.3m。但保持完全的真空是不可能的，因此实用上的能力是 5~6m。地下水位要降低到此值以下，就必须设置多段进行排水。

地层的适用范围是渗透系数在 $k=10^{-2} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$ ，与井点比，其适用范围大一些。在渗透系数小的地层中，降低到要求水位，需要一定时间，，因此在掌子面施工的场合，对开挖进尺会产生一定影响。为此，在隧道开挖中，可利用超前导坑和台阶法的上台阶等施工，，在后续的掌子面到达前把地下水位降低到要求水位。

管井的施工例示于图 5.17 和 5.18。

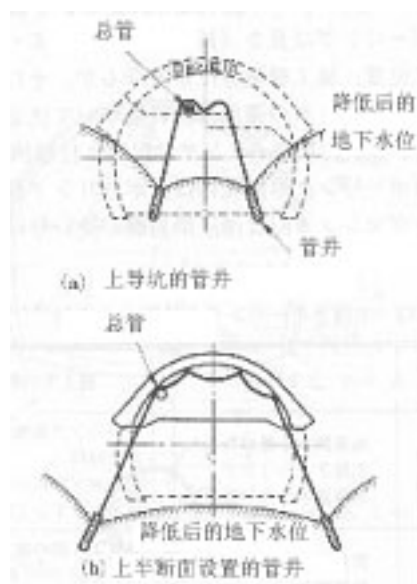


图 5.17 管井施工例

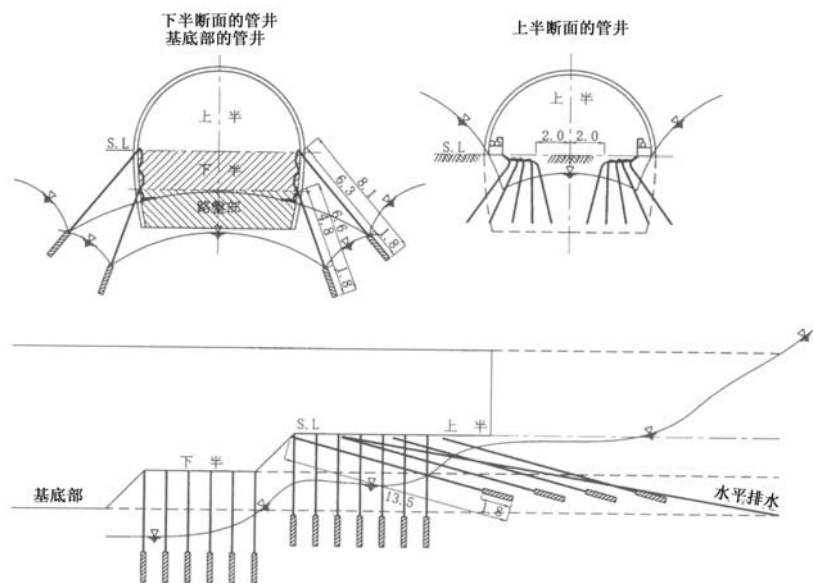


图 5.18 白砂围岩中洞内管井施工例

5.6 围岩补强

围岩补强是山岭隧道开挖的对策中，最常采用的一种对策。

在山岭隧道中，掌子面在开挖后至少应在支护构筑完成前，应该具有能够自稳的强度，是稳定的。如果不稳定，就要采取任何手段，对围岩进行补强。例如，利用超前的支护构件和及早闭合提高构件功能、从洞内附加位移的约束力，或者在高含水状态下对强度降低的围岩减少其含水率，提高其强度的涌水对策等等。

围岩补强可按图 5.19 分类。

围岩补强	注浆（也有止水的目的）
	地表垂直锚杆
	隔断壁（主要目的是隔水）
	冻结（也有止水的目的）
	置换（浅、深层混合、搅拌）

图 5.19 围岩补强的分类

5.6.1 注浆

（1）概要

止水工法比排水工法价格高，采用时，要充分研究适当的安全性、经济性、进度等决定。止水工法中的注浆法是减少涌水量、改良地层效果促使掌子面稳定对策中有效性比较高的工法。注浆法在山岭隧道中多与排水工法并用，可在只用排水不能处理的大量涌水和砂质围岩中采用。也有采用注浆法把涌水减少到一定程度后再用排水钻孔等，一边排水一边开挖的事例。为了发挥最佳的注浆效果，视地质条件选定注浆材料和注浆方式。

注浆法是止水对策的主要方法，但也有提高围岩强度特性的效果，也适合作为掌子面稳定对策和地表面下沉对策。此外作为围岩补强的方法还有地表垂直锚杆工法。垂直锚杆工法是在埋深小的土砂围岩中作为抑制地表面下沉对策和事前的掌子面稳定对策而采用的。

注浆是用具有固结性的药液用压力注入地层，提高围岩的性状（透水性、强度特性等）的工法。

在山岭隧道中，对妨碍开挖作业的地下水（地下水压），原则上是采用排水工法予以排出，但由于排水在破碎带、软弱层等围岩和未固结的围岩可能产生崩塌的场合，或者在城市隧道中，可能产生基础结构物下沉和地表面下沉的场合，采用注浆工法减少流入隧道的地下水是一个有效的对策。

注浆的目的大体上分为止水和围岩补强两类。止水，如上所述是对地下水流动对隧道和周边环境产生不良影响的场合，抑制从隧道中的排水量为目的的。而围岩补强则是充填、浸透、固结围岩中的空隙和裂隙或者土粒子间的空隙，力图增加围岩强度为目的的。实际上，两者的效果是重叠的，而发挥其注浆效果的。

（2）注浆工法的设计

设计注浆工法时，选定注浆方式、注浆材料、注浆范围，和设定注浆率、注浆孔间隔・配置、钻孔及注浆长度、注浆压力、注浆速度等是必要的。

1）注浆方式

注浆方式有单管注浆、两重管注浆、两重管填塞注浆等。在山岭隧道中，对岩质围岩多采用单管注浆方式，在土砂围岩中，为了更确实的注浆，多采用两重管注浆方式。

2）注浆形态和注浆材料的选择

注浆形态示于图 5.20，注浆材料的分类列于表 5.4。

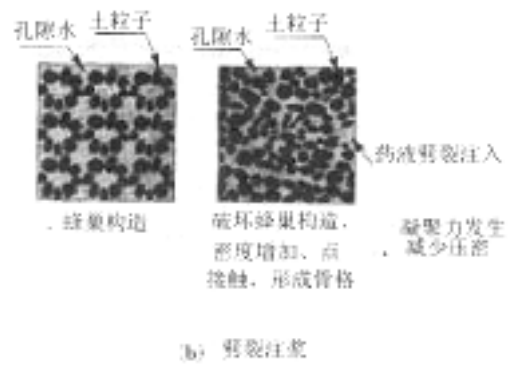
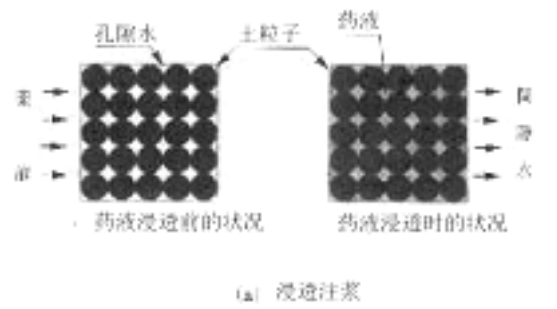


图 5.20 注浆形态

地层注浆材料	水泥系	水泥浆	
		水泥、粘土等	
	药液系	水玻璃系	碱性材料
			非碱性材料
	高分子系	尿烷系	
		其它	

图 5.21 注浆材料分类

表 5.4

注浆材料和适用范围

液态	状态		胶凝时间	注浆形态	适用地层
----	----	--	------	------	------

溶 液 型	• 不含粒子， 液 体 状 态 固 结 的 材 料	单液型	中	浸透注浆 • 土粒子间的空隙水与注浆材料置换的状态 • 劈裂浸透注浆 • 空隙小的砂质地层，先行劈裂注浆，而后浸透注浆的状态	• 砂质地层 • 砂砾地层
	• 低粘性、强度低，易于浸透地层，增加强度		长		
	双液型	瞬间			
		中			
		瞬间			
悬 浮 型	• 含有水泥等粒子的固结材料 • 强度高	双液型	瞬间	劈裂注浆 • 割裂粘性土地层的状态 • 增加地层的压密效果和材料强度的复合状态	• 粘性地层 • ×大空隙地层
			中		
	备注： ×作为砾、埋土等大空隙先行注浆材料使用				

3) 注浆范围和应用例

注浆范围与盾构法和明挖法比，多数是经验设定的。注浆范围虽目的而异，但在山岭隧道中，止水为目的时，多采用 $R/r=2$ (R : 注浆范围半径, r : 隧道半径), 即距隧道壁面 5m 左右。在青函隧道等水底隧道中一般采用 $R/r=3\sim5$ 左右, 不管那一种都是以全周注浆为对象的 (图 5.22)。

在围岩补强的场合, 根据围岩状况, 多以距壁面 2m 的对象为注浆范围。一般说比止水场合, 范围要小一些。断面内的注浆范围也多是以隧道拱顶为中心, 限定在拱部范围之内 (图 5.23)。在围岩条件不良, 隧道有下沉可能的围岩中, 要特别对支护脚部周边围岩进行补强。

从掌子面与开挖交互作业的场所进行注浆时, 因为对开挖作业有影响, 因此在埋深 20m 左右的场合, 多数是在开挖前从地表进行注浆 (图 5.24)。此时除了要改变注浆要求的钻孔长度外, 因为注浆方向、注浆孔配置都要改变, 要仔细研究要求的品质和工期等选定最合适的施工方法。

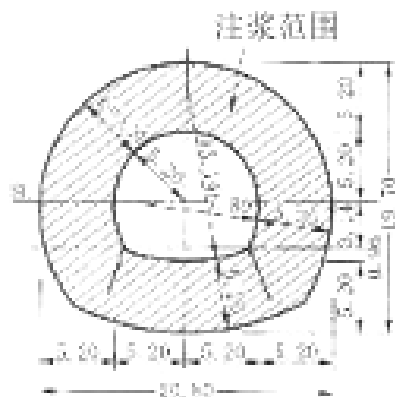


图 5.22 隧道全周注浆例

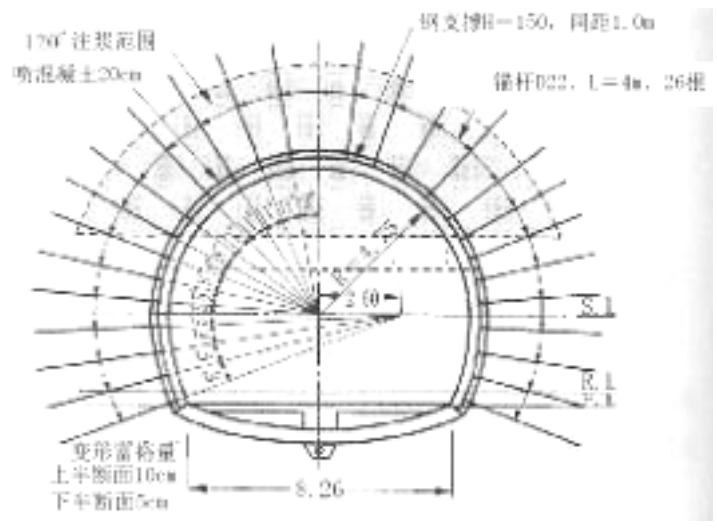


图 5.23 拱部注浆例

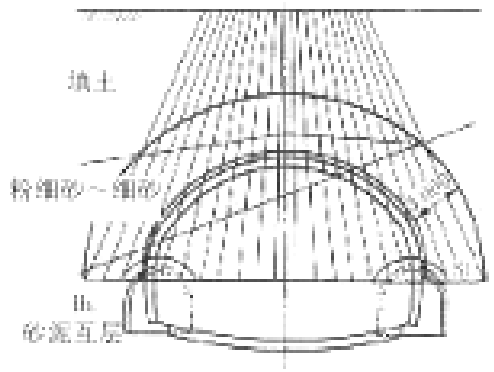


图 5.24 从地表注浆例

一般说，到目前为止，注浆都是以确保隧道开挖时围岩的稳定和对周边结构物的影响而实施的。但近几年对自然环境的影响引起社会的高度重视，即使采用非排水型隧道，施工中也不采取降低地下水位的方法越来越多。在图 5.25 的非排水型隧道例子中，事先采用导坑在主洞周边进行注浆，而后进行扩挖。导坑是采用密闭型盾构进行开挖的，而且采用了具有止水性的管片。

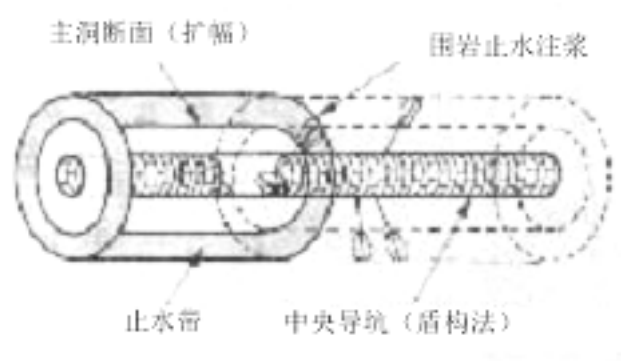


图 5.25 导坑型注浆例

注浆工法，要完全止水也是困难的，而是力图在隧道周边形成一个难透水层。由于注浆而改良的渗透系数，因地质条件而异，但可降低 $1/10 \sim 1/100$ 左右，注浆后的渗透系数要确保在 $k = 10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$ ，为此要选定合适的药液和施工方法。另外在形成止水层（难透水层）的场合，因为作用有地下水压，因此要求注浆区域的围岩和支护构件具有能够承受此水压和土压的强度特性。

采用注浆止水工法的条件如下。

- 1) 仅仅实施降低地下水位工法不能获得充分的降水效果时；
- 2) 为保护环境不能降低水位时；
- 3) 水底隧道等涌水的供水无限时；

以止水为目的的注浆效果，根据围岩性质的不同，可归纳如下。

- 1) 裂隙发育的硬质围岩，注浆主要是填充空隙，提高止水效果；
- 2) 向砂质围岩注浆浸透性高的材料（溶液性），改善围岩的透水系数；
- 3) 向割裂性黏性土中注浆时，不仅压密周围的围岩，同时也提高了止水效果；

不管是那种情况，以目前的技术水平看，仅采用止水工法，达到完全止水的效果，是不可能的。要根据围岩条件、周边的环境条件、要同时采用注浆工法和止水工法，才能获得效果，而且经济。

图 5.26 是注浆施工例

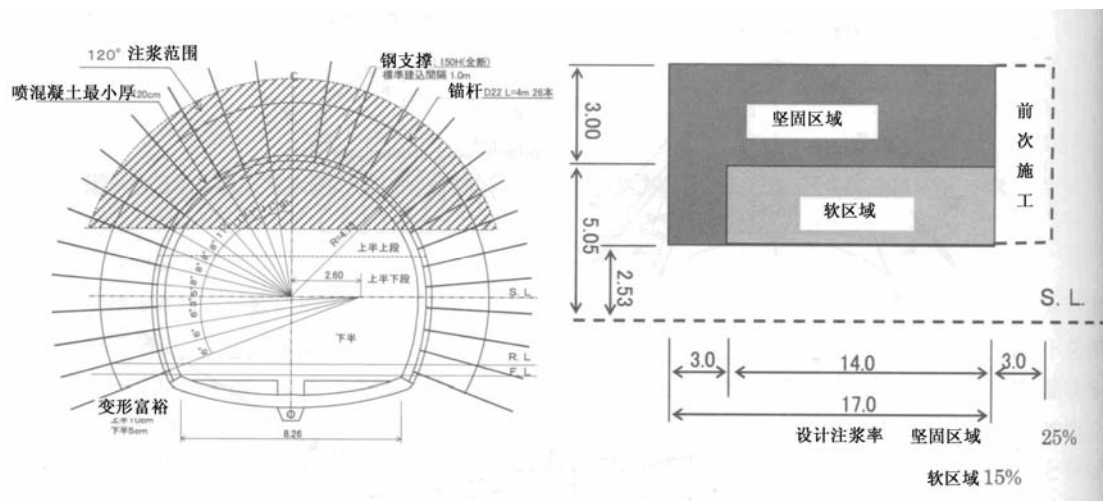


图 5.26 断层破碎带中注浆的施工例

6) 围岩改良

围岩改良是事先从地表面对隧道周边围岩进行改良的辅助工法，适用于埋深小的隧道。围岩改良的方法应根据地质条件选定合适的方法，但从施工性、经济性的观点出发，采用置换改良土的方法采用较多。该方法与明挖法比，开挖宽度及开挖土量比较少，改良后应迅速回填，对地表面的利用的制约也少。施工时，

先进行必要范围的浅层混合，而后用添加水泥系固化材料的改良土，填土到隧道拱顶部，直到回填到地表面后再进行开挖的工法。回填采用泡沫砂浆的场合，硬化后氧化钙与水反应，产生游离石灰，有引起隧道排水闭塞的可能，因此在地下水赋存地带使用要格外注意。

改良体及范围应基于施工实绩和数值解析，经济地设定。埋深极小的场合，很难形成承载拱，易于产生整体下沉，要加以注意。此外，地下水位高，开挖中有可能涌水的场合，要考虑涌水对策的进行改良。接近道路和民宅等结构物的场合，要研究不损伤其功能的对策。图 5.27 是围岩改良例。

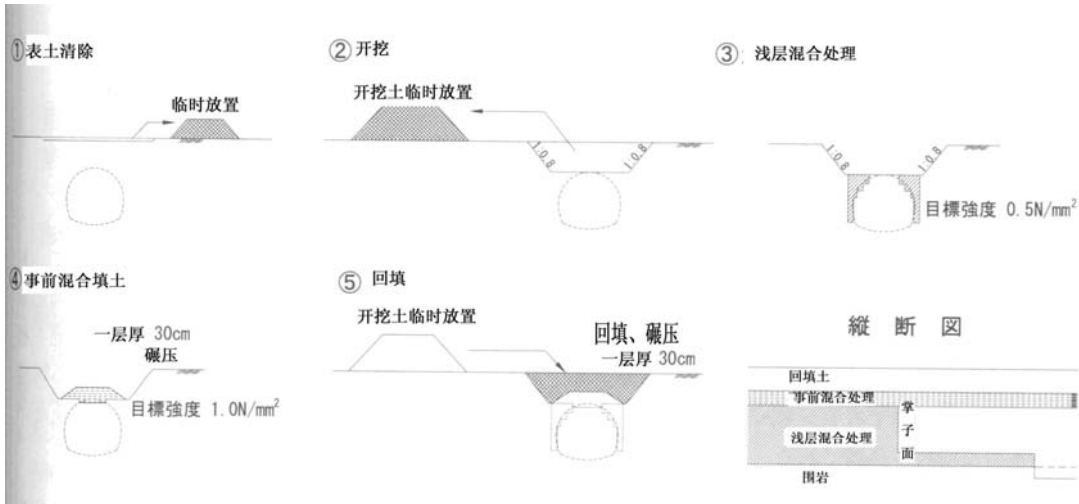


图 5.27 围岩改良施工例

8) 隔断壁

隔断壁是为防止隧道开挖时对近接结构物和井户产生的不良影响为目的的工法，在隧道开挖前，事先在地中设隔断壁，隔断围岩的变形传递或抑制地下水位降低的工法。隔断壁的种类有钢背板、地下连续壁、喷射局部工法等。用这些工法遮断地下水流的场合，要注意对地下水环境的影响。隔断壁本身可能成为位移的不连续面，因此，要出发研究新建隧道本身的位移不能过大，或者对开挖时的掌子面稳定不能有不良影响的对策。

图 5.28 是隔断壁施工例。

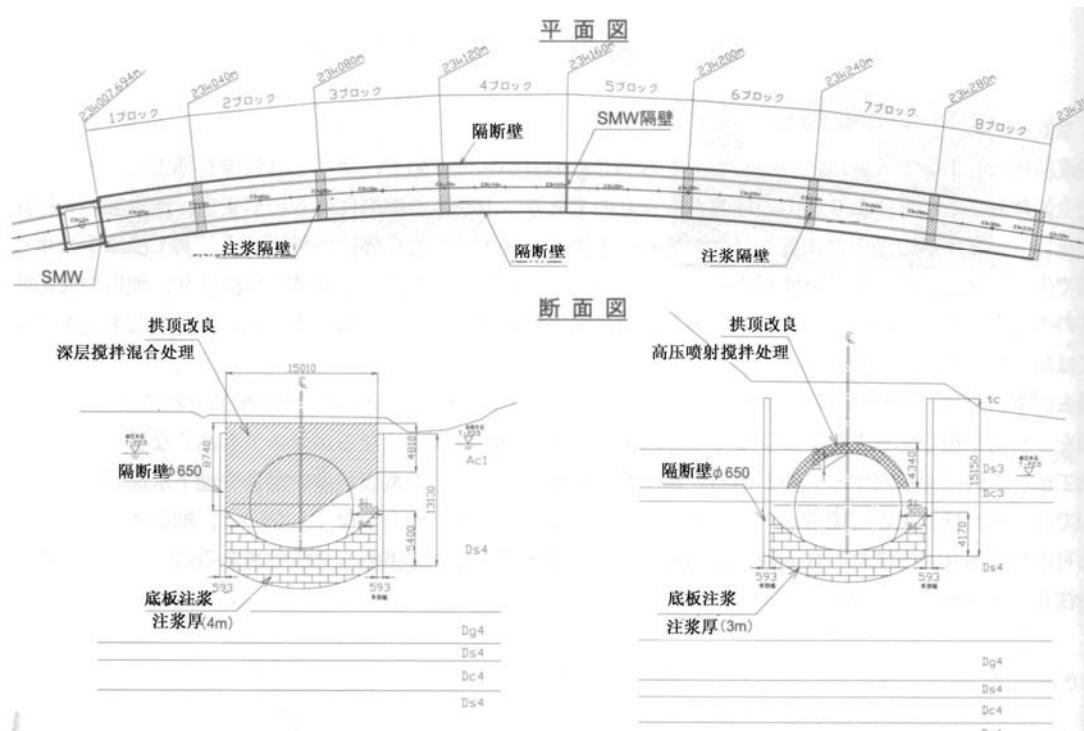


图 5.26 隔断壁的施工例