



挪威隧道岩体注浆

ROCK MASS GROUTING IN NORWEGIAN TUNNELLING

挪威隧道协会 编著

杨秀仁 周书明 译



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

ROCK MASS GROUTING IN NORWEGIAN TUNNELLING

挪威隧道岩体注浆

挪威隧道协会 编著

杨秀仁 周书明 译



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书英文版由挪威隧道协会编写, 2011年由挪威奥斯陆 HELLI-VISUELL KOMMUNIKASJON 出版。本书是英文版的中文翻译版本, 主要内容包括: 挪威地下工程的注浆实践、注浆检查、注浆准备、注浆帷幕的注浆孔施工、注浆设备、例行维护、注浆程序及操作、TBM 隧道注浆、开挖后注浆、水流失测量和渗透性等内容。

本书可供隧道与地下工程的建设、监理、施工单位有关人员使用, 也可作为高校师生的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

挪威隧道岩体注浆 / 挪威隧道协会编著; 杨秀仁, 周书明译. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.6

ISBN 978-7-114-12048-0

I. ①挪… II. ①挪… ②杨… III. ①岩体—注浆法 (凿井)—研究 IV. ①TD265.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 024203 号

许可证号: 京朝工商广字第 8195 号 (1-1)

著作权合同登记号 图字: 01-2016-3818

书 名: 挪威隧道岩体注浆

著 者: 挪威隧道协会

译 者: 杨秀仁 周书明

责任编辑: 张江成 李 坤

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

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) 59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 8

字 数: 143 千

版 次: 2016 年 6 月 第 1 版

印 次: 2016 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12048-0

定 价: 36.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

译者的话

《挪威隧道岩体注浆》是挪威隧道协会编写的技术图书的第 20 分册，2011 年由挪威奥斯陆 HELLI-VISUELL KOMMUNIKASJON 设计出版，国际标准书号为 ISBN 978-82-92641-21-7。

本书编写的目的在于与同行分享挪威隧道岩体注浆技术，以指导隧道岩体注浆作业的规划和实施，本书详细介绍了隧道注浆设计方案和注浆作业规程、施工技术、注浆效果检测等内容。

译者和挪威隧道协会协商，将该书翻译成中文版出版，供中国隧道与地下工程的项目业主、顾问、设计人员、施工人员、高校师生等相关工程技术人员参考。

挪威隧道协会 (NFF) 免费提供该书中文简体出版权，译者的领导和家人给予翻译工作极大的支持，周冰洁参与了部分书稿的翻译工作，译者表示衷心的感谢！

翻译过程中，遵循 *ROCK MASS GROUTING* 英文版内容，一些图片无文字介绍，其旨在丰富本书所述内容，因此对这些图片予以保留。

译者

2016 年 1 月于北京

❖ 中文版前言 ❖

封面照片由挪威铁路管理局及挪威隧道协会的 Th Skjeggedal、Hilde Lillejord 提供。封面照片展示了现代隧道工程是人力资源与精密硬件设施相结合的成果。除非另有说明，文中插图、表格由参编人员或 NFF 提供。

《挪威隧道岩体注浆》英文版 *ROCK MASS GROUTING* 已由 HELLI-VISUELL KOMMUNIKASJON 设计、出版，该公司网址为 www.helli.no，电子邮箱为 post@helli.no。

特此告知读者，挪威隧道协会出版物仅供参考。文中观点和结论秉承来源可靠、诚信原则得出。任何情况下，挪威隧道协会或作者均不承担由于使用该信息导致的直接、间接或附带损失。

挪威隧道协会免费提供该书的版权供翻译，翻译书仅供参考。如需引用请检索英文稿原件。

挪威隧道协会

2016 年 1 月

❖ 英文版前言 ❖

《挪威隧道岩体注浆》是挪威隧道协会 (NFF) 出版的英文版图书之一。本书旨在与同行人员分享国际岩石工程技术方面的信息，论述隧道岩体注浆方面的工程技术。

本书编写的目的在于指导岩体注浆作业的设计和实施，系统介绍了隧道岩体注浆的设计方案、注浆作业规程、施工技术、注浆效果检测等内容。

目标读者群体包括项目顾问、施工人员、项目业主，及所有注浆工作从业者。

本书的编写主要参考了2010年7月挪威语编写的第三版《地下工程岩石注浆手册》(以下简称《手册》)。

2010年挪威版《手册》的工作小组由以下成员组成：Hans Olav Hognestad, BASF(巴斯夫挪威公司); John Ivar Fagermo, AF Gruppen; Alf Kveen(挪威公路管理局); Lise Backer(挪威国家铁路管理局); Eivind Grønv, SINTEF/NTNU(森泰福/挪威科技大学); Erik Frogner, Norconsult(挪威咨询公司); Arnstein Aarset, NGI(挪威岩土工程研究所)。

此外，还有其他人员参与编写本书，主要是 Aslak Ravlo、Thor Skjeggedal 和 Jane Lund-Mathiesen。挪威隧道协会衷心感谢作者、工作人员，以及为本书编写提供支持的人们。

挪威隧道协会于奥斯陆

2011年5月

目 录

概述	1
第 1 章 挪威地下工程的注浆实践	2
1.1 挪威的地质和水文地质条件	2
1.2 岩体预注浆	3
1.3 针对隧道的用途不同,使其具有相应的致密性	4
第 2 章 注浆检查	6
第 3 章 注浆准备	8
3.1 清理	8
3.2 进出场通道	8
3.3 空间要求	8
3.4 水泵位置	8
3.5 注浆前的岩洞加固	9
第 4 章 注浆帷幕的注浆孔施工	10
4.1 钻孔方法	10
4.2 注浆帷幕钻探方案	10
4.3 截断注浆帷幕	12
4.4 钻杆搬运	12
4.5 钻孔直径	12
4.6 钻凿直孔	12
4.7 偏差测量	13
4.8 钻孔定位和标记	13
4.9 使用随钻测量(MWD)的钻孔记录	13
4.10 测量钻孔涌水量	14
第 5 章 注浆设备	16
5.1 注浆设备要求	16
5.2 料斗	17
5.3 搅拌器	17
5.4 注浆泵的性能	17

5.5	自动记录系统	17
5.6	现场监控	18
5.7	工作台	18
第6章	封隔器、注浆管、软管和连接器	19
6.1	不同类型封隔器的应用领域	19
6.2	一次性封隔器	20
6.3	多次用封隔器	21
6.4	钻杆和封隔器的位置	21
6.5	施工立管, 解决高压钻孔出水问题	21
6.6	使用自进式可注射杆注浆	23
6.7	注浆软管的压力等级	23
6.8	连接器	23
6.9	设备维护	23
第7章	例行维护	25
7.1	例行维护检查计划	25
7.2	清洁	25
7.3	维护	26
7.4	供电和配电	26
7.5	连接器故障	26
第8章	注浆	28
8.1	概述	28
8.2	水泥	28
8.3	标准注浆水泥——工业水泥	28
8.4	微细水泥和超细水泥	28
8.5	稳定化合物	29
8.6	用于搅拌注浆的超塑化剂	31
8.7	水	31
8.8	可控固化加速剂	31
第9章	喷射注浆	33
9.1	所需技能	33
9.2	注浆程序	34
9.3	Bærum 隧道(双轨铁路隧道)注浆流程	34
9.4	蒙斯塔德(Mongstad)岩洞开挖和注浆时遵循的程序	35
9.5	T形连接通道注浆程序示例(海底隧道)	37
9.6	Løren 隧道(交通繁忙高速公路)的注浆流程	39

9.7	Gevingsåsen 隧道 (单线铁路隧道) 注浆流程与工艺	42
第 10 章	注浆操作的检查	50
10.1	注浆材料的交付和检查	50
10.2	水泥泌水测试	50
10.3	材料储存	51
10.4	水灰比检查	51
10.5	黏度检查	52
10.6	凝固测试	53
10.7	使用测量基石检查水密性	54
10.8	进行注浆时的记录 (报告)	55
第 11 章	健康、安全和环境 (HSE)	58
11.1	概述	58
11.2	注浆作业防护	58
11.3	封隔器脱落	58
11.4	观测注浆操作期间岩石的稳定性	60
11.5	环境因素	60
第 12 章	TBM 隧道注浆	61
12.1	概述	61
12.2	从 TBM 开凿时考虑的实际因素	62
12.3	TBM 开凿期间, 稳定掌子面前方的地表	62
第 13 章	开挖后注浆	64
13.1	概述	64
13.2	针对开挖后注浆的实际建议	64
13.3	锚杆孔开挖后注浆的适用产品	65
13.4	泄漏点开挖后注浆的适用产品	65
13.5	较大表面开挖后注浆的适用产品	66
13.6	组合注浆	67
第 14 章	功能要求	69
14.1	确定功能要求	69
14.2	制定涌水量标准	69
14.3	根据环境制定流入量标准	70
14.4	实际施工操作的流入量标准	70
14.5	地下结构运行的流入量标准	71
14.6	松散岩块和岩石间过渡带的特殊注浆	72
14.7	实施注浆的标准	73

14.8	选择注浆策略时, 考虑的技术和经济因素	74
第 15 章	合同	76
15.1	注浆工作付款方式的规定	76
15.2	动机、风险和职责分配	76
15.3	达成的付款形式	76
第 16 章	水文地质和岩石注浆	78
16.1	岩体中的进水	78
16.2	岩石中地下水流建模	78
16.3	水平衡	79
16.4	岩洞涌水量的计算	79
16.5	进水强度	80
第 17 章	地下结构进水的后果	81
17.1	渗漏量与影响距离之间的关系	81
17.2	渗透率与孔隙压力下降之间的关系	81
17.3	沉降和沉降状况	82
17.4	明矾页岩和地下水位的变化	84
第 18 章	隧道渗漏和环境因素	85
18.1	数值建模	85
18.2	从二维建模获得经验	86
18.3	从三维建模获得经验	86
18.4	隧道挖掘对地下水位的影响	87
18.5	自然景观中可接受的渗漏	87
18.6	确定敏感景观中可接受渗漏率的程序	88
18.7	确定城市地区可接受渗漏的程序	90
第 19 章	水流失测量和渗透性	91
19.1	岩石节理和渗透性	91
19.2	吕荣值的定义	91
19.3	吕荣试验	92
第 20 章	术语表	93
参考资料	96
致谢	97
本书英文版编辑出版信息	99
国际支持团队	100

概 述

岩石注浆领域内，设备、方法及材料发展方面不断取得进步。其中最主要的一项重大进步是隧道岩石注浆作业方面与健康、安全和环境管理体系 (HSE) 有关措施的实施。

本书介绍了现今挪威在岩石注浆作业方面常用的标准，并为岩石隧洞注浆作业实践提供指南，主要集中于工作面的设备、材料和操作。文中简要说明了所涉及的各项岩石注浆作业。本书中的大部分建议主要适用于涉及系统化注浆的项目，但同样适用于项目设计阶段或按照现场实际条件有必要进行注浆的项目。

本书主要阐述水泥基浆液，同时也探讨了备用的注浆产品和方法，旨在表明有多种方法可取得满意结果。同时阐述了注浆的基本原则，以及针对个别项目定制的经济技术优化方案。

在 2001 年至 2004 年间进行的“环境及社区友好型隧道”的岩石工程项目施工期间，编者收集了大量有关沉陷可能性、岩石渗透性、自然环境脆弱性、涌水量标准以及密封技术之间关系的实验数据，并进行系统化；调查结果已纳入修订版国家规范和标准内，并在为涉及系统化注浆的新项目起草合同时予以考虑。本书内的大部分基本资料基于相同的调查结果。

关于影响密封方案选择、材料选定和注浆程序的理论关系，本书结尾处提出了一些补充背景材料，还提供确定岩石隧洞和隧道密封要求的指南，以及进行岩石注浆作业的原则。

施工期间，很有必要对注浆作业人员进行培训和认证并制订一系列要求，涉及计划、实施及检查喷射混凝土操作的人员。



第 1 章 挪威地下工程的注浆实践

挪威隧道协会 (NFF) 非常荣幸能够为国际隧道协会呈现这样一本书, 其中汇总了岩体注浆技术多年的研究、应用成果。岩体注浆已成为挪威隧道工程的重要部分, 施工单位在隧道工作面施工时, 岩体注浆可以预防隧道涌水。但随着时代不断变化已转移了重点, 目前, 岩体注浆已成为进行隧道建设时避免对地上设施造成不利影响的重要手段。

1.1 挪威的地质和水文地质条件

挪威属于前寒武纪地质, 2/3 的地区覆盖前寒武纪岩石 (时间超过 6 亿年), 且主要是不同类型的片麻岩。该纪元的其他岩石还有花岗岩、辉长岩和石英岩。大约 1/3 的地区覆盖着寒武纪—志留纪时代的岩石。其中大部分岩石变质, 但程度不同。片麻岩、云母片岩、绿岩、砂岩、页岩、石灰岩以及其他未变质的岩石形成了山脉, 穿过国家的中心地带。在地质条件独特的奥斯陆 (Oslo) 地区, 部分岩石由未变质的寒武纪—志留纪页岩和石灰岩构成, 而其他部分由二叠纪侵入岩和喷出岩构成。这些岩石均为形成年代较晚的古生代岩石。

整个斯堪的纳维亚 (Scandinavia) 地区, 一般岩体条件有利于注浆。地质条件以火成岩为主, 例如花岗岩、各类变质岩以及片麻岩、页岩等原岩。主要岩层被软弱构造带不同程度地横切, 该地带有强烈的构造节理、热液蚀变现象, 断层和剪切破坏, 导致岩石存在显著的薄弱面, 使岩体差异较大。这些条件下的隧道可能需要采取加固岩石措施。

按照 Q 系统指标, 斯堪的纳维亚地区的主要岩石质量从差到极好。薄弱地带质量变化显著, 其从 Q 分类图表下端的“极差”过渡至“良好”, 宽度从几厘米扩展至几十米。该地区的大部分地带自稳时间可能仅仅几小时。

在挪威, 水文地质情况以高地下水位为主, 岩体内亦是如此。该条件对隧道建设有利因素, 也有不利因素。有利的一面是地下结构周围的地下水体系为岩洞提供了天然的水力梯度, 从而有利于修建无衬砌储藏设施。不利的一面是该饱和地下水存在一定风险, 隧道开挖活动可能干扰地下水状况, 对地表结构和生物类型造成不利影响。

实际上, 岩石本身不能渗透, 且孔隙率可忽略。这意味着, 围岩样本的渗透率 (k) 很小,

可能介于 $10^{-12} \sim 10^{-11}$ m/s 之间, 个别岩石节理的渗透率 (k) 介于 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ m/s 之间。因此, 岩体是非常典型的多节理含水层, 沿着高渗透性的非连续性结构出水。岩体 (包括固结岩和节理) 渗透性一般介于 $10^{-8} \sim 10^{-7}$ m/s 之间。这表明必须确定和处理岩体内传导层。此外, 对于下降的地下水, 必须确定适当的解决方案以处理该地带, 以防隧道对地下水体系造成不利影响。预防隧道地下水并不限于采取单一措施, 也包括隧道施工期间采取的一系列措施和方法。

1.2 岩体预注浆

岩体本身就是一道显著的屏障。但是, 由于岩石是非连续材料, 其水力特征变化多样, 从不透水介质到高导电地带。因此为了控制地下水, 通常挪威隧道工程的标准施工工序是预注浆, 从而降低岩体渗透性, 然后加固岩体。该工序从奥斯陆城的早期隧道工程开始, 历经水电站项目的无衬砌高压输水隧道、石油和天然气储存与海底岩石隧道, 直到当代城市隧道工程。本书将针对地下水控制的各种原因进行探讨, 并说明近几十年内挪威地下隧道工程预注浆的理念。此外还将提供一些工程实例, 以说明挪威隧道工程当前的做法。

岩体注浆已成为隧道掘进和地下工程开挖的重要工作环节, 尤其是在地上基础设施高度发达的城市地区, 以及由于各种原因易受地下水位波动影响的地区。过去几十年内, 隧道工程施工不仅需仔细核查工程造价和施工计划, 而且还要审查地下水位下降对周围环境 (如植物群、动物群、建筑物沉降等) 造成的影响。本书就如何解决这些问题提出了指导建议, 同时将岩体注浆技术作为处理岩石隧道内地下水的主要措施。对于隧道工程导致地下水位下降的情况, 敏感性分析是辨别周围环境脆弱性的一种便捷方法。

城市地区进行的隧道工程允许的最高涌水量为 $2 \sim 4$ L/(min · 100m), 而其他地区进行的隧道工程 (例如海底隧道) 允许的最高涌水量可设为 30 L/(min · 100m)。事实上, 可接受的涌水量范围较广, 岩体注浆是将水泥基材料作为主要材料。过去几年内, 新型材料技术借助速凝剂 (控制凝固时间)、塑化剂 (提高泵送能力和渗透性) 等实现水泥改性, 同时微量硅粉确保注浆在硬化之前稳定。计算机辅助便于高效移动式注浆装置的搅拌和泵运, 可在几个注浆孔内同时进行浆液独立灌注, 且要求使用的注浆泵压力达到 10 MPa。岩体注浆控水技术随着注浆材料和现有注浆设备的发展达到了高水平。随着行业技术进步, 在特殊项目工程环境下, 已能够按照要求正确应用注浆材料和设备。



隧道内涌水量不可预测、技术欠缺以及处理此类项目影响的合同条款不完备是全世界隧道工程成本超支和方案超出限额的最常见原因。我们认为隧道行业借助预注浆知识和技术，可实现预期成本和施工方案。

开挖前注浆降低岩体的渗透率已成为隧道掘进和地下开挖的重要方法，尤其是在地上基础设施高度发达的城市地区，以及易受地下水位波动影响的地区。最近几年，隧道工程备受社会关注，且关注点也在发生变化，人们开始彻底审视地下水位降低对周围环境（如植物群、动物群、建筑物沉降等）造成的影响。本书对开挖前注浆技术作为处理岩石隧道工程内地下水的主要技术进行了总结。

掘进预注浆技术已从社会认可度低、合同有限的小型隧道项目，发展成为城市隧道工程建设各方的关键业绩指标。城市隧道工程建设历史和常见的合同争议是证明该技术有利于未来项目的最佳证据。岩体本身就是良好的防水屏障，具有显著的抗渗性和致密性，但由于其具有被裂纹、节理和断层切断的特性，因此是不均匀的，且在短距离、有限范围内物理力学性能变化极大。

在开挖隧道过程中，可导致地下水位下降。一种是，容许大量水涌入隧道，但涌水量受到隧道开挖与水泵抽水能力等因素限制，适用于对地下水影响不大的偏远地区，以及不特别要求内部环境干燥的项目。另一种是，周围环境要求限制地下水位下降，其适用于城市地区，为避免建筑物沉降，该地区由于环境保护原因，要求减小地下水流失对环境的影响。

1.3 针对隧道的用途不同，使其具有相应的致密性

为什么要使隧道或地下洞室干燥？作者认为，主要有三方面原因。

(1) 内部环境的严格要求。隧道和地下洞室与安全、干燥内部环境的严格要求有关。在许多情况下，要求不允许隧道内壁或顶板上有水。

(2) 防止对内部及周围环境造成不良影响。隧道工程易导致地下水位下降，进而使城市地区建筑物及表面结构沉降，干扰现有生物类型、天然湖泊和池塘等，进而对周围环境造成不利影响。

(3) 保持水动力控制。无衬砌地下洞室用于油气储存、冷藏、增压空气、核废料隧道和岩洞、储藏室，以及其他工业化处理等。地下水控制为防止地下洞室的物品的泄漏提供了保护。



图 1-1 修建中的 Eiksund 海底隧道 (照片由挪威公路管理局 Svein Skeide 提供)



第2章 注浆检查

注浆检查表列出注浆项目实施期间须考虑的重要方面。

A、B和C是计划阶段需重点考虑的自然地质条件和施工技术参数。C、D和E在项目实施期间非常重要。对于开发商和业主，所有方面均需考虑。

A. 周围环境和岩洞

—土地状况 —建筑物 —水路 —生物栖地	—地面导电性 —附近地下设施 —影响区域 —敏感性	—应用 —目标 —功能要求
-------------------------------	------------------------------------	---------------------



B. 基 岩

地质 —节理 —张力 —填充裂缝 —岩石类型	水文地质 —地下水位 —岩体中的水流量 —化学性质
---	---



C. 注浆策略——系统化注浆(若必要)

止浆垫几何形状 —渗透深度 —长度 —孔数 —超覆	注浆助剂 —材料选用 —水灰比 —硬化 —外加剂	止浆标准 —体积 —压力 —移动泄漏
--	---	------------------------------------



D. 实 施

设备 —混合器和搅拌机 —软管和联轴器 —杆和封隔器 —通信	注浆助剂 —供应商 —交付计划	注浆人员 —经验 —机构 —应急计划 —风险分析
---	------------------------------	---



E. 文 档

<p>钻井报告</p> <ul style="list-style-type: none"> —长度 —角偏移 —每孔流入量 —特殊条件 	<p>注浆报告</p> <ul style="list-style-type: none"> —每孔数量 —静置压力 —配比 —移动泄漏 	<p>质量</p> <ul style="list-style-type: none"> —稳定性 —凝固 —水灰比 —储存时间 —水泥质量
---	---	--



F. 结 果

<p>地质</p> <ul style="list-style-type: none"> —流入量测量 —地下水位 —损害环境 —防水 	<p>实施文档</p> <ul style="list-style-type: none"> —质量文档 —开挖后注浆
--	--