



厦门翔安海底隧道施工关键技术丛书

CHANGJU QIANMAI DAKUA BULIANGDIZHI
CRD GONGFA SHIGONGJISHU

长距浅埋大跨不良地质 CRD工法施工技术

林作雷 著



海峡出版发行集团
THE STRAITS PUBLISHING & DISTRIBUTING GROUP

福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

厦门翔安海底隧道施工关键技术丛书

CHANGJU QIANMAI DAKUA BULIANGDIZHI
CRD GONGFA SHIGONGJISHU

长距浅埋大跨不良地质 CRD工法施工技术

林作雷 著



海峡出版发行集团
THE STRAITS PUBLISHING & DISTRIBUTING GROUP

福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

长距浅埋大跨不良地质CRD工法施工技术/林作雷著. —福州: 福建科学技术出版社, 2010. 7

(厦门翔安海底隧道施工关键技术丛书)

ISBN 978-7-5335-3709-8

I. ①长… II. ①林… III. ①水下隧道: 浅埋隧道-工程施工-施工技术-厦门市 IV. ①U459.5

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第128744号

- 书 名 长距浅埋大跨不良地质CRD工法施工技术
厦门翔安海底隧道施工关键技术丛书
- 著 者 林作雷
- 出版发行 海峡出版发行集团
福建科学技术出版社
- 社 址 福州市东水路76号 (邮编350001)
- 网 址 www.fjstp.com
- 经 销 福建新华发行 (集团) 有限责任公司
- 排 版 视觉21设计工作室
- 印 刷 福州华悦印务有限公司
- 开 本 700毫米 × 1000毫米 1 / 16
- 印 张 14
- 字 数 230千字
- 版 次 2010年7月第1版
- 印 次 2010年7月第1次印刷
- 书 号 ISBN 978-7-5335-3709-8
- 定 价 55.00元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前言

在具有不均匀动荷载的软弱富水围岩中修建海底隧道，保证其施工期和运营期的结构安全，是隧道施工中最大的技术难题。厦门翔安海底隧道作为5100m的长距离、超浅埋、大跨度海底公路隧道，采用创新的CRD工法施工，实现零死亡事故目标，创造了修建海底隧道的世界奇迹！

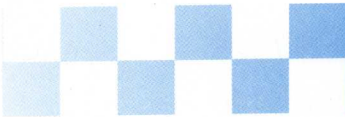
CRD工法又名交叉中隔壁工法，该工法在海底隧道施工中以地层预加固为前提，以钢拱架、锚、网喷支护为基础，充分利用加固后的地层与初支体系共同受力，承受外部荷载。

为确保中国第一条钻爆法施工的大断面特长海底公路隧道的施工安全，作者针对海底大断面隧道（ 170m^2 ）超浅埋（3~17m）浅埋（27m）长距离（5100m）穿越软弱、流沙、海底富水、风化深槽（囊）、软硬交界面等施工难度大、风险高的工程难点和特点，组织开展了CRD工法施工技术研究。通过理论研究和施工实践，对CRD工法的钢拱架结构技术参数、初期支护参数、支护体系、开挖方法、封闭长度、施工工艺、机械设备配套等进行优化创新，总结了超前支护体系和喷、网、钢拱架、锁脚锚管（杆）、喷组成的新型一次支护结构，以及设备选型、配套施工技术成套施工技术。有效解决了施工过程中遇到的突泥、坍塌、变形、失稳等技术难题，有效克服了风险，有效控制了围岩沉降和收敛，加快了施工进度，确保隧道结构质量和安全。本研究为成功建设特大型海（水）底隧道提供了实用性强、安全性高、质量可靠的方法，也为大型不良地质隧道与地下工程特别是海底隧道工程建设项目提供工程范例。

在厦门翔安海底隧道建成通车之际，本书得以问世，是集体智慧的结晶。中铁隧道集团孙振川、惠建永、梁海清、房建华等同仁对CRD工法施工技术研究做出了重要贡献，书中参考勘察设计单位、中铁二十二局的部分资料，在此对他们表示衷心的感谢！

本书是作者对海底公路隧道工程建设的粗浅体会和CRD工法施工技术研究运用的经验总结，不足之处敬请专家、同行和广大读者指正！

作 者



目录

第一章 工程地质与水文地质 / 1

- 第一节 不良地质的类型和特性 / 3
- 第二节 工程地质与水文地质条件 / 7
- 第三节 不良地质的施工技术措施 / 15

第二章 CRD工法施工方案 / 19

- 第一节 CRD工法设计方案 / 21
- 第二节 CRD工法施工方案优化技术 / 31

第三章 CRD工法施工技术 / 55

- 第一节 超前地质预报技术 / 57
- 第二节 超前支护技术 / 64
- 第三节 洞内真空降水技术 / 77
- 第四节 地表深井降水技术 / 79
- 第五节 锚网喷与钢管抗滑结合支护技术 / 84
- 第六节 拱背补偿（回填）注浆填充地层技术 / 88
- 第七节 临时护拱支撑技术 / 90
- 第八节 富水沙层加固处理技术 / 92
- 第九节 土石交界层施工技术 / 102
- 第十节 临时支护结构拆除技术 / 110

第四章 施工监控量测技术 / 119

- 第一节 施工监控量测的内容 / 121
- 第二节 施工监控量测的程序 / 124

- 第三节 施工监控量测问题的处理 / 125
- 第四节 施工监控量测数据的应用 / 126
- 第五节 施工监控量测成果资料的提交 / 129

第五章 CRD工法设备选型及配套设备技术 / 131

- 第一节 开挖出渣机械选择及配套技术 / 133
- 第二节 支护作业设备选择及配套技术 / 135
- 第三节 通风及排水设备配套技术 / 136
- 第四节 主要施工机械选型及数量 / 141

第六章 洞口施工组织与施工技术 / 147

- 第一节 洞口工程地质与水文地质条件 / 149
- 第二节 组织机构 / 152
- 第三节 主要施工机械配备 / 154
- 第四节 洞口边仰坡防护施工技术 / 157
- 第五节 洞口段明洞施工技术 / 163
- 第六节 洞口超前长管棚施工技术 / 171

第七章 洞口安全保障与施工环保措施 / 179

- 第一节 安全组织保障措施 / 179
- 第二节 施工环保技术措施 / 188

第八章 CRD工法课题技术研究 / 197

- 第一节 CRD工法研究内容 / 199
- 第二节 CRD工法研究过程 / 204
- 第三节 CRD工法科研成果 / 206
- 第四节 成果应用与影响 / 210

第一章

工程地质与水文地质





第一节 不良地质的类型和特性

工程界通常将稳定性比较差的IV、V级围岩称为不良地质。在工程中常见的不良地质具有以下类型和特性。

一、岩质软弱围岩

岩质软弱围岩的岩体硬度小、完善性差、节理面多、受地下水影响大、自稳差、易坍塌（图1-1）。



图1-1 岩质软弱围岩

二、土质软弱围岩

土质软弱围岩的性质为土状结构、密度低、结构松散、空隙比大，遇水强度急剧弱化、自稳能力急剧降低，易发生大变形或坍塌（图1-2）。



图1-2 土质软弱围岩

土质软弱围岩可分为黏质土围岩、沙质土围岩、碎石土围岩三种。黏质土围岩由塑性指数大于10的黏性土组成，一般呈硬塑、软塑和流塑三种状态，水含量高时可手搓成条。沙质土围岩由粒径大于2mm的颗粒含量不超过总质量的50%的土，以及粒径大于0.075mm的细粒含量超过总质量50%的土组成，一般分为粉沙、细沙、中沙、粗沙、砾沙（图1-3）。碎石土围岩由粒径大于2mm的颗粒含量超过总质量的50%的土组成，一般分为圆砾土、角砾土、碎石土、卵石土、块石土、漂石土。



图1-3 沙质土围岩

三、极软岩

极软岩按地质学的岩性划分,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、含有大量膨胀性黏土沙物的松、散、软、弱岩层,该类岩层多为泥岩、页岩、粉沙岩和泥质沙岩等,岩石单轴抗压强度小于5MPa(图1-4)。

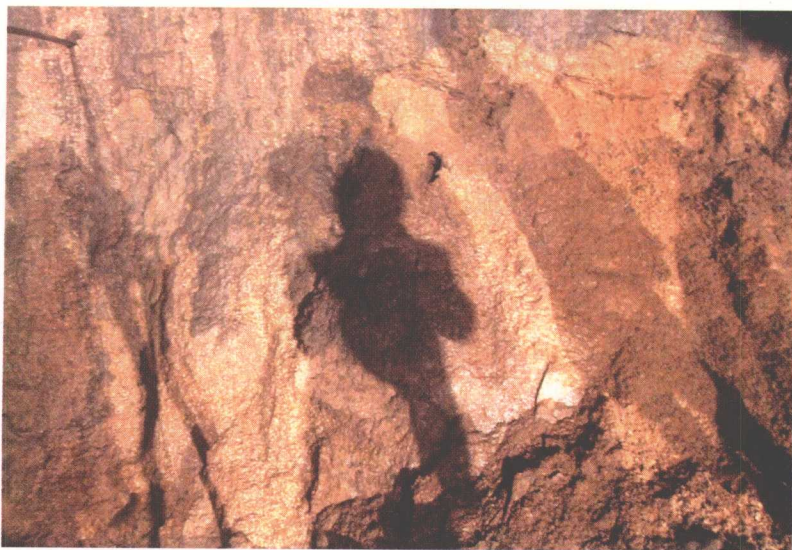


图1-4 极软岩

极软岩最大的工程地质问题就是岩质松散破碎、围岩强度低、自稳时间短，开挖后风化快，遇水后强度迅速丧失，围岩大变形现象严重。在地下水的作用下，岩层泥化严重，自稳能力极差，开挖后如不及时采取有效支护措施，地层就会在短时间内由弹性变形发展为塑性变形，引起崩塌、冒顶等地质灾害发生（图1-5）。

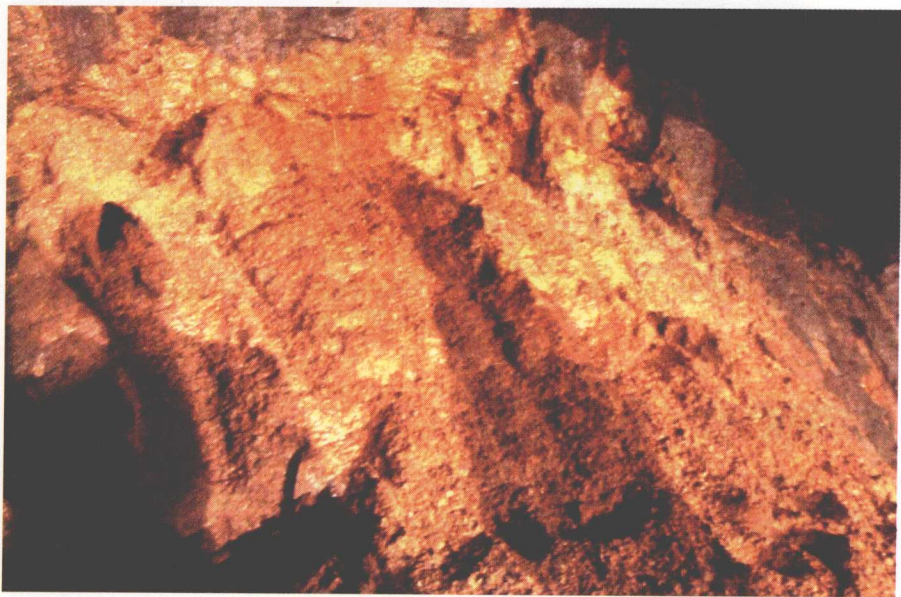


图1-5 塑性变形

四、岩溶

岩溶俗称溶洞，其发育千奇百态、复杂多变。岩溶通常视其形态及规模大小、充填性特征、充填物性质、岩溶涌水量以及涌水量动态变化特征进行分类，见图1-6。

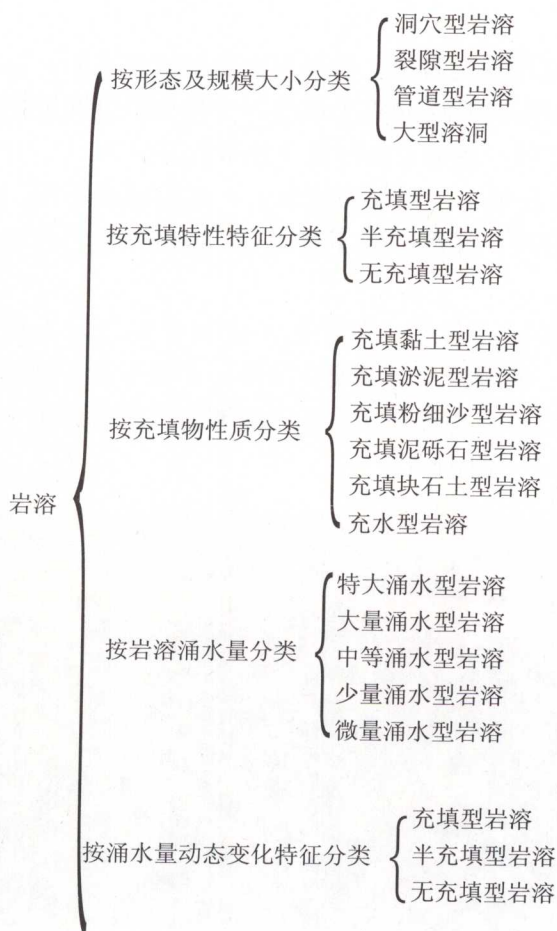


图1-6 岩溶分类

第二节 工程地质与水文地质条件

一、工程地质条件

根据地质测绘和钻探揭示, 厦门翔安海底隧道区段地层主要为第四系地层及燕山期侵入岩两大类。

1. 第四系地层

第四系地层以侵入岩残积土为主,其次为上更新统冲洪积、以白色基调为主的黏性土(当地称白土)和黏土质沙,少量全新世冲坡积或海积沙土、黏性土、淤泥等。各类土体特征及分布情况如下。

(1) 填筑土:多为杂填土,局部为素填土,结构疏密不均,主要分布于五通岸人口居住区,厚度一般不超过3m,西滨岸仅以海堤、塘埂、路堤等形式出现。

(2) 全新世海积淤泥:灰色一灰黑色,含贝壳碎片,土质均匀,黏性较强,呈流动一流塑状,局部混少量沙;主要分布于港湾及沿海潮间带,陆域沟、塘中有少量分布。场区潮滩前缘地带此类土较厚,钻孔揭示最厚处达6m。见图1-7。



图1-7 海滩淤泥

(3) 全新世海积沙类土:多呈灰色,局部呈浅黄色,多为中粗沙,结构松散,成分以石英为主,分选性差。局部含较多泥质和贝壳碎片,呈淤泥混沙状;主要分布于海岸边及浅海暗礁群内,厚度一般不超过7m。

(4) 全新世亚黏土、淤泥质亚黏土及泥炭质土:场区丘间洼地表部一般均有全新世冲洪积亚黏土,颜色以黄褐色居多,洼地边缘过渡为棕红色,软塑状为主,局部流塑或硬塑状,层厚一般小于2m;滨海低凹处常有湖沼相灰色淤泥质黏土或黑色泥炭质土分布其下,呈流塑一软塑状,分布高程在0.0~7.0m之间,泥炭层厚度一般小于1m,淤泥质黏土厚度小于3m,五通岸低洼处局部地段也可能有

此类土分布。

(5) 上更新统冲洪积黏性土及黏土质沙：此类土以白色为主基调，残丘边缘过渡为棕黄杂灰白色，以沙质黏性土为主，某些深度可出现细腻的黏土夹层，呈硬塑一半干硬状。下部往往夹密实的黏土质中粗沙透镜体，该土层沙粒含量及粒径垂向变化大；海域中翔安岸养殖场区为更新统冲洪积中粗沙，局部含卵、砾石，最大粒径可达10cm左右，反映出山前古冲沟或古洼地的沉积特征。前者在场区丘间洼地均有所分布，揭示最大厚度近15m。翔安岸揭示该类土顶界最高点为4.88m。

(6) 第四纪残积层：表部均为棕红色，往下过渡为棕红杂黄色、灰白色花斑状，以沙质黏土、亚黏土居多，呈硬塑一半干硬状，广泛分布于残丘台地，厚度多为5~10m。（注：本次勘察以矿物风化程度、原岩结构以及标准贯入击数等综合因素作为残积土与全风化层的划分标准）。

2. 燕山期侵入岩

场区基岩以燕山早期第二次侵入的花岗闪长岩及中粗粒黑云母花岗岩为主，海域及五通岸为花岗闪长岩分布区，翔安侧潮滩及其以北地带为黑云母花岗岩分布区。其内穿插二长岩、闪长玢岩、辉绿岩（玢岩）等岩脉，以辉绿岩最为多见，多沿本场区最为发育的裂隙侵入，脉宽一般不足1m，个别部位宽达10~20m；二长岩脉多分布于F1、F4深槽，在五通侧潮滩后缘有所出露，总体呈北东向展布，延伸不远，最宽处约10m，其内原生节理及密闭裂隙特别发育；五通岸有微风化的闪长岩，翔安岸钻孔多处揭示了已风化为土状的细粒闪长岩，连接线还揭示了闪长玢岩脉体。基岩按风化程度可分为全、强、弱、微四个风化带，见图1-8。

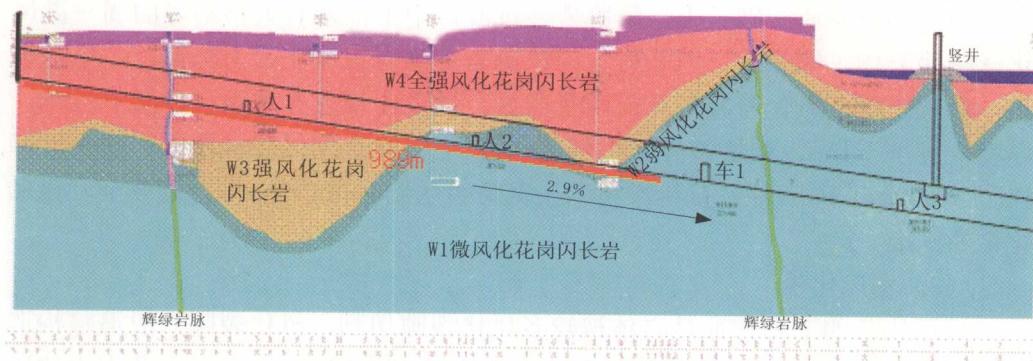


图1-8 隧道地质纵断面图

(1) 全风化带

全风化花岗闪长岩及黑云母花岗岩一般呈棕黄—灰黄色，含灰白色及褐色斑点，岩体已呈沙质黏土或沙质亚黏土状；全风化辉绿岩为灰黄含黑褐色细纹，呈硬塑—半干硬黏土状；全风化闪长岩为灰黄—浅黄色，岩体呈硬塑黏土状；全风化闪长玢岩多为紫红含灰白斑点，呈硬塑—半干硬黏土状；全风化二长岩多白色，含较多高岭土，呈硬塑黏土状。全风化带的厚度主要取决于其顶部受剥蚀程度，两岸普遍较厚，一般为10~30m，海域变化很大，浅海区及五通岸潮滩区该风化带几乎被冲刷剥蚀殆尽，但构造破碎带内仍可达30m左右。见图1-9。



图1-9 隧道内地质芯样

(2) 强风化带

花岗闪长岩及黑云母花岗岩强风化带呈棕黄—灰黄色，从上至下一般由砾质黏性土→泥质沙砾石土→酥脆岩体过渡，中下部常有大小不等的弱—微风化球状残余体，辉绿岩、闪长岩、闪长玢岩等脉岩强风化带为棕黄色，呈坚硬土—极软岩状，风化差异不及前两者明显。强风化带顶界高程一般低于-10m，厚度一般小于15m，构造破碎带内可达30m以上；在个别风化深槽内，其底界可深至-100m以下。（注：以标准贯入击数是否达到50击/30cm作为划分全、强风化带的标准。）

(3) 弱风化带

该风化带的主要特征是岩体被较多风化裂隙切割，风化裂隙一般追踪构造裂隙或原生节理发育，部分追踪低倾角裂隙，裂隙两侧数mm至数cm范围内的矿物风化成黄色，部分裂隙内充填物或胶结物已风化为泥，岩块大部分仍保持原