不良地质隧洞围岩稳定性及支护结构可靠性研究

黄志怀 著

中国建筑工业出版社

不良地质隧洞围岩稳定性及支护结构可靠性研究

黄志怀　著

安徽建筑大学
藏書
图书馆

中国建筑工业出版社

图书在版编目（CIP）数据

不良地质隧洞围岩稳定性及支护结构可靠性研究/
黄志怀著.—北京：中国建筑工业出版社，2018.12
ISBN 978-7-112-22739-6

Ⅰ.①不… Ⅱ.①黄… Ⅲ.①隧道工程-围岩稳定性
-研究②隧道工程-下部结构-可靠性-研究 Ⅳ.①U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 221437 号

本书以深圳茜坑隧洞建设为背景，总结了我国已建类似条件下工程的建设经验，制定了新奥法施工中弱围岩支护与衬砌结构可靠性试验研究与安全监测计划，建立了监测信息采集、信息处理、信息利用系统。利用监测信息分析软弱围岩的变形特性和规律，以动态设计和动态施工方法不断调整施工方案和技术参数，并制定了严格的工程措施，实现了工程建设的安全高效。

本书可供从事隧道工程的工程技术人员和科研人员提供参考，也可供相关专业师生提供参考。

责任编辑：杨　允
责任校对：姜小莲

不良地质隧洞围岩稳定性及支护结构可靠性研究
黄志怀　著
*
中国建筑工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路 9 号）
各地新华书店、建筑书店经销
北京佳捷真科技发展有限公司制版
北京君升印刷有限公司印刷
*
开本：787×1092 毫米　1/16　印张：8½　字数：168 千字
2018 年 12 月第一版　　2018 年 12 月第一次印刷
定价：**50.00** 元
ISBN 978-7-112-22739-6
（32837）

版权所有　翻印必究
如有印装质量问题，可寄本社退换
（邮政编码 100037）

前　言

深圳北线引水工程位于深圳市的北部，工程的主要任务是引东江源水到宝安中西部，解决宝安中西部地区的城市用水问题。引水工程中的输水管道，隧洞较多，隧洞段工程地质条件复杂，围岩多数属于不良地质软弱围岩，风化裂隙发育，岩石破碎或为全风化岩类，围岩自稳能力低，极易坍塌，出口段洞身多为残坡积土，没有自稳能力。北线引水工程中的茜坑隧洞，全长 322m，隧洞围岩全部属于不良地质软弱围岩，隧洞地下水较丰富，在裂隙密集区域，有突然涌水。

茜坑隧洞建设开始，在总结了我国已建类似条件下工程的建设经验，采用新奥法施工。制定了切实可行的新奥法施工中弱围岩稳定性和支护与衬砌结构可靠性试验研究与安全监测计划，建立了监测信息的采集、信息处理、信息利用的系统。利用监测信息认真分析软弱围岩的变形特性和规律，以动态设计和动态施工方法不断调整施工方案，调整技术参数，并制定了严格的工程措施，严格管理，精心设计、精心施工，创造了“短进尺、快支护、勤量测、严管理”的建设经验，有效的保证了施工安全，加快了施工进度，节省了投资，并取得了工程建设质量优良的建设业绩。

茜坑隧洞工程的建设经验告诉我们，只要以科学发展观，一切通过科学试验和科学论证，正确认识软弱围岩变形规律和特点，用监测信息处理工程问题，并在工程建设中不断总结经验，严格管理，精心施工，就能保证不良地质软弱围岩工程的顺利建设。

茜坑隧洞工程的经验证明了输水隧洞施工安全监测的重要性与作用，明确了所谓新奥法，就是喷锚支护加监测，监测是隧洞施工中的主要工序。

本书主要研究内容是：依托深圳北线饮水茜坑隧洞工程安全监测项目，依据新奥原理，通过原位监测和计算分析，研究不良地质隧洞围岩的稳定性、支护结构和混凝土衬砌结构的可靠性和合理性，确定支护类型、支护参数和支护时机。

（1）研究不良地质隧洞围岩变形规律，分析围岩变形稳定状态，确定支护的合理时间。

（2）支护形式和支护参数研究：分析前期支护结构的受力状态和对围岩稳定的影响，分析不同的支护参数（例如锚杆支护长度、密度、直径，钢拱架的结构、间距，喷混凝土的强度、厚度等参数）的可靠性，提出不同地质条件下合理的支护参数。

（3）研究混凝土衬砌的受力和应力状态，复核混凝土衬砌的可靠性。

（4）隧洞混凝土衬砌应力分析：根据结合试验的监测成果，通过分析计算和工程类比确定混凝土衬砌荷载，分析在内压和外压作用下的受力特征，计算衬砌的应力，复核混凝土衬砌可靠性，优化结构设计。

（5）在隧洞施工过程中进行原位试验监测，测试不同岩石类别的围岩在施工过程中的变形和不同支护结构、衬砌结构受力变形数据。同时收集类似工程设计计算数据，围岩的其他物理力学试验数据。

（6）分析岩体结构变形规律和稳定性、结构荷载情况、支护结构和衬砌结构的承载能力进行分析研究。

（7）提出岩体稳定变形指标，确认、调整、修改支护参数或变更支护方案建议，衬砌结构的复核计算成果，提出评价报告和衬砌优化建议。

本书的编写过程中，作者在王永年教授级高级工程师、李东教授级高级工程师、丁占武高级工程师的精心指导和帮助下完成。在此，一并致谢！

本书的出版得到了珠江水利委员会珠江水利科学研究院、水利部珠江河口海岸工程技术研究中心、水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室的资助支持。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　国内外软弱围岩工程特性研究现状 …… 1
1.1.1　软弱围岩地下工程建设中的主要问题 …… 2
1.1.2　国内外软弱围岩隧洞建设概况 …… 3
1.1.3　国内外软弱围岩隧洞工程研究综述 …… 5
1.2　工程条件与立项目标 …… 6
1.2.1　工程概况 …… 6
1.2.2　立项目的意义 …… 6
1.2.3　项目目标 …… 7
1.3　研究内容 …… 7
1.3.1　原位监测与试验 …… 8
1.3.2　隧洞结构计算分析研究 …… 9
1.4　项目开展情况 …… 10
1.4.1　工程基本资料分析和现场调查 …… 10
1.4.2　试验研究工程的特点与实施条件 …… 11
1.4.3　试验研究工程的监测条件 …… 11
第 2 章　隧洞原位监测及成果分析 …… 13
2.1　隧洞原位监测设计 …… 13
2.1.1　隧洞原位监测项目 …… 14
2.1.2　原位监测布置 …… 14
2.1.3　实施技术方案和技术程序 …… 18
2.1.4　作业组成方式 …… 19
2.1.5　试验研究技术规程 …… 21
2.2　监测仪器安装埋设 …… 22
2.2.1　钻孔与回填 …… 22
2.2.2　监测仪器设备检验与率定 …… 23
2.2.3　仪器设备安装埋设 …… 27
2.2.4　施工期观测 …… 30

2.3　监测资料整理分析 …… 30
2.3.1　监测资料整理过程与要求 …… 30
2.3.2　原始数据检验和处理 …… 32
2.3.3　物理量计算 …… 36
2.3.4　编制曲线图 …… 37
2.3.5　初步分析和异常值判识 …… 38
2.4　试验研究完成的工程量 …… 38
2.5　监测成果分析 …… 39
2.5.1　隧洞顶拱下沉状态 …… 40
2.5.2　隧洞围岩净空收敛变形状态 …… 42
2.5.3　隧洞围岩内部变形状态 …… 44
2.5.4　隧洞围岩内部锚杆应力状态 …… 46
2.5.5　隧洞围岩变形压力状态 …… 47
2.5.6　隧洞围岩松动范围 …… 48
2.5.7　格栅拱架钢筋应力状态 …… 52
2.5.8　衬砌混凝土应变变化状态 …… 53
2.5.9　衬砌钢筋应力变化状态 …… 56
2.5.10　地下水渗透压力变化 …… 58
第3章　隧洞监测成果反分析 …… 60
3.1　茜坑隧洞反分析的工程要求和资料准备 …… 60
3.1.1　地下洞室反分析的目的意义 …… 60
3.1.2　茜坑隧洞反分析的物理力学模式 …… 60
3.1.3　茜坑隧洞反分析计算程序和数据准备 …… 61
3.2　茜坑隧洞位移反分析的原理和方法 …… 62
3.2.1　隧洞黏弹性位移反分析的原理和方法 …… 62
3.2.2　洞室“台阶式”错动开挖的有限元位移反分析 …… 63
3.2.3　一次支护对围岩参数的反分析成果影响的研究 …… 65
3.2.4　洞室收敛变形和绝对位移的回归拟合 …… 66
3.3　茜坑隧洞位移反分析计算 …… 67
3.3.1　有限元网格剖分 …… 67
3.3.2　位移观测数据准备 …… 67
3.3.3　位移反分析计算 …… 68
3.3.4　茜坑隧洞反分析成果 …… 71
3.3.5　茜坑隧洞反分析成果分析 …… 73

第 4 章　隧洞围岩稳定性分析 …… 76
4.1　围岩稳定性地质因素分析 …… 76
4.1.1　围岩介质特性分析 …… 77
4.1.2　围岩结构分析 …… 77
4.1.3　隧洞围岩应力分析 …… 81
4.2　隧洞围岩变形规律分析 …… 83
4.2.1　围岩内空变形规律 …… 84
4.2.2　围岩内部变形规律 …… 85
4.2.3　围岩的变形状态类型 …… 88
4.3　围岩稳定性评价 …… 90
4.3.1　呈稳定变形状态的围岩 …… 91
4.3.2　等速变形状态的围岩 …… 91
4.3.3　超限变形的围岩 …… 91
4.3.4　变形超限内部有明显潜在差动位移带的围岩 …… 92
第 5 章　支护与衬砌结构可靠性分析 …… 94
5.1　茜坑隧洞的支护与衬砌结构 …… 94
5.1.1　一次支护结构 …… 94
5.1.2　混凝土衬砌结构 …… 96
5.2　支护与衬砌结构的有效性分析 …… 97
5.2.1　加固结构有效性分析的内容与标准 …… 97
5.2.2　锚杆工程合理性分析 …… 99
5.2.3　锚杆工作状态分析 …… 100
5.2.4　锚杆有效性综合分析 …… 105
5.2.5　钢拱架工程合理性分析 …… 106
5.2.6　钢筋混凝土衬砌工程合理性分析 …… 108
5.3　基于可靠性的隧洞设计、施工原则与优化 …… 110
5.3.1　软弱围岩隧洞设计原则 …… 110
5.3.2　软弱围岩隧洞施工原则 …… 111
5.3.3　隧洞设计与施工优化研究 …… 113
第 6 章　结论与建议 …… 120
参考文献 …… 126

第1章 绪 论

1.1 国内外软弱围岩工程特性研究现状

我国工程界在软弱围岩的工程力学性质及其应用的研究中，取得了一定的成果，但软弱围岩工程力学理论与应用，仍满足不了软弱围岩地下工程建设的需要，对软弱围岩的许多基本理论仍不十分清楚。

水利水电部门对软岩的划分是按岩石单轴抗压强度来划分的。在《水利水电工程地质勘察规范》GB 50287—1999 的围岩分类中，给出了软弱围岩的概念。并指出当 $R_b \leqslant 5$MPa，属特软岩。在进行围岩分类时，岩体完整性程度与结构面状态不参加评分。也就是说，极软岩的围岩类别还不能按《水利水电工程地质勘察规范》GB 50287—1999 进行划分。

我国煤炭部门认为软岩应分为地质软岩和工程软岩，地质软岩的定义为：具有软弱、松散破碎、膨胀性的岩体的总称；工程软岩定义为：在工程力作用下，能够产生显著塑性变形和流变的工程岩体。在地下工程中，软弱围岩属于不良地质范围内的软弱地质体，是服务于地下工程的软弱工程地质体，是作为地下洞室围岩而不能自稳或自稳能力很低的工程地质体。这些软岩的地质定义指出了软岩的地质自然特性，工程定义指出了工程环境及其特性。

水利水电系统关于软岩的定义虽然简单，并没有包含工程中的变形特征，煤炭系统的软岩定义虽然较为全面，但也有一些不足之处，例如原来坚硬的岩石在高应力作用下，也可能产生显著的塑性变形和流变。根据前一个定义它不是软岩，而根据后一个定义它是软岩。在工程环境中，只指出工程力也不全面。例如影响膨胀性软岩的主要因素是水；再其次，对于松散破碎岩体而言，主要属性是流动，是岩块或颗粒间的相对运动，而不是变形。基于上述看法，一些学者和工程技术人员提出如下定义：在工程环境各种因素作用下，呈现软弱或松散破碎的自然性状，产生显著变形或流动的岩体称为软岩。总而言之，岩体是否为软岩或极软岩一定要在工程环境中判断，根据具体的岩体力学属性、变形特征来指导软岩或极软岩地下工程的设计与施工。

由于软岩，特别是极软岩，地质条件复杂，岩体强度极低，具有特殊的变形属性，在软岩和极软岩体中进行工程建设，一定要对岩体的力学性质和变形特性

进行认真的研究与分析，充分掌握其规律，根据其变形规律确定设计方法和支护措施，才能将复杂多变的问题变得简单一些，并保证软岩和极软岩环境中工程建设的施工安全和科学决策。

1.1.1　软弱围岩地下工程建设中的主要问题

1. 施工过程中的安全问题

在软岩和极软岩中开凿地下洞室，最主要的问题要解决施工过程中的安全问题，保证施工过程中的围岩稳定，减少塌方，避免人员伤亡和设备损失，使人民的生命和财产安全得到有效保障。

已建工程的实践证明，由于对软岩地区地下工程岩体力学属性和变形特性分析不够，对其给工程建设过程中带来的危害认识不足，而造成工程事故屡见不鲜。

例如东深供水的雁田隧洞，总长度为 6400m，穿越沟谷 11 处，沟谷处均为 V 类围岩，岩体软弱破碎，施工过程中发生了 3 次冒顶塌方；珠海湾仔供水隧洞长 6393m，上覆岩层较深，多为松散破碎物，强度低，施工过程中发生过 8 次塌方，发生 3 次冒顶塌方；引大入秦的盘道岭隧洞，极软岩洞段长度 12830m，岩性为第三纪半胶结状态砂岩，岩石饱和单轴抗压强度仅为 0.2～0.8MPa，施工过程中经常塌方，其中最大一次塌方为冒顶塌方，发生在 CH77＋648～CH77＋163，地表形成深 10m、直径为 8m 的深坑；云南省星云湖、抚仙湖出流改道工程隧洞长 11km，部分地段穿越第三系黏土夹粉砂地层，施工过程中多次发生塌方，其中两次塌方冒顶至地表，死亡一人，该工程 2003 年开工至今尚未完工；北京地铁工程，2007 年发生塌方，有六人死于塌方事故；北疆引额济克工程由总干渠和西干渠组成，总干渠有白山嘴和博塔玛依两条隧洞，总长度 4142m，施工期多次发生塌方，白山嘴两次较大塌方，高度达 8m，塌方长度达 24m；博塔玛依隧洞塌方 40 余次，一次较大塌方长度 52m，冒顶高度 36m，处理塌方工程量达 35 万 m^3。西干渠有 5 条隧洞，总长度为 10005m，施工过程中也多次发生塌方。其中，1 号隧洞、2 号隧洞和 4 号隧洞均发生冒顶塌方。一些在坚硬岩体中开挖的隧洞，如果遇到断层、破碎带等软弱地层，再加上施工方法不当，也会发生较大塌方，例如小浪底导流洞、甘肃疏勒河昌马隧洞，均发生过较大规模塌方。

由于塌方不仅造成延误工期，增加工程造价，还造成人民生命财产的损失，所以在软岩和极软岩中开挖隧洞，最重要的问题是采取合理的施工方法和工程措施，避免塌方，减少损失，这是一个重要的课题。

2. 延误工期

(1) 引大入秦盘道岭隧洞 77＋648～77＋663 发生大塌方，处理塌方历时 5

个月；CH79＋795.5 和 CH80＋178.3 二处塌方处理历时 2 个月。

（2）引额济克总干渠白山嘴隧洞 7＋554～7＋578 和 8＋943～8＋963 发生二处较大塌方，处理塌方历时 3 个月。

（3）引额济克总干渠博塔玛依隧洞 58＋303～58＋357 和 58＋493～58＋507 发生冒顶式塌方，采用了大开挖的方式进行处理，挖方与填方总工程量达 35 万立方米，处理塌方历时 2 个月。

（4）引额济克西干渠 1 号隧洞 D6＋520～D6＋560 区段发生大塌方，塌方高度 21.0m；2 号隧洞 D43＋350～D43＋800 由于开挖过程中塌方，成洞困难改为明洞施工，D45＋315～D45＋540 塌方，高度达 14m；4 号隧洞 H13＋907～H13＋996 发生冒顶式塌方，地表形成深 6m、直径约为 11m 深坑。处理上述塌方均花费了大量时间。

（5）云南星云湖、抚仙湖出流改道隧洞 2003 年开工由于塌方，被迫改为顶管方案，至今尚未贯通。

3. 增加投资

引额济克总干渠博塔玛依隧洞 58＋303～58＋507 段冒顶式塌方，一次就增加投资 220 万元。云南星云湖、抚仙湖出流改道隧洞，由于塌方频繁，工期延误，增加投资约 6000 万元。

1.1.2 国内外软弱围岩隧洞建设概况

目前我国大多数水工隧洞是在坚硬或比较坚硬的岩体中建成的，由于岩体强度较高，围岩较为完整，开挖后围岩的自稳能力较强，只要施工方法得当，支护及时，施工期和运行过程中的安全一般不会出现问题。

随着我国水利水电工程的发展，大型或特大型水利水电工程的修建，特别是为解决水资源分布不平衡问题，一些大型跨流域调水工程开始建设，在软弱岩体中修建输水长隧洞工程是经常遇到的。据不完全统计，新中国成立以来，我国水工隧洞建设总长度已近千公里，其中 10 年间新增水工隧洞长度超过 500km，引黄入晋工程的 7 号隧洞，独洞长度为 42.49km，辽宁大伙房输水隧洞长达 85km，还有引黄入晋北干渠输水隧洞（54.85km）等工程。10 年新增的输水隧洞中，在软弱围岩中开凿的隧洞长度已达 164.7km，见表 1-1。

在国外，典型的软岩隧洞是陶恩隧洞，它是连接奥地利与意大利的公路隧道，位于阿尔卑斯山的拉德斯答特地区，长 6400m，为两条平行的单行隧道，每座隧道的横断面为 95～110m^2，上覆高度大部分在 400m 左右。地质情况复杂，有强构造应力。

陶恩隧道的支护设计是采用工程类比法进行的，在施工期间根据监测资料的反馈信息对设计不断进行修改。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

近年我国修建的软弱围岩隧洞　　**表 1-1**

工程名称	地质条件	引水隧洞总长度(km)	软岩隧洞长度(km)	极软岩隧洞长度(km)	软岩隧洞所占比例(%)	引用流量(m^2/s)	洞室开挖尺寸(m)	说明
广东雁田隧洞	石炭系、侏罗系泥质粉砂岩	6.4	1.54			73.3	5.6×7.0	
甘肃引大总干渠		75.11	72.9	12.83	65.86	36.0	6.0×6.0	
甘肃引大东、西干渠		35.59				21.5		
引黄入晋总干渠	奥陶系灰岩	42.2		3.7	8.77	48.0	ϕ6.125	软岩隧洞为土洞
引黄入晋南干渠	灰岩	97.96		3.9	4.00	24.0	ϕ4.9	软岩隧洞为土洞
甘肃冷龙岭隧道	灰岩、泥质板岩	8.855		2.6	29.36	7.5		
北疆引水总干渠	第三系砂岩、泥岩	4.14		4.14	100	120	ϕ8.0	
北疆引水西干渠	第三系砂岩、泥岩	10.05		10.05	100		马蹄形 7.0×7.0	
北疆引水南干渠顶山隧洞	第三系砂岩、泥岩	14.89		14.89		55	7.2×7.2	
伊犁八十一达板隧洞	第三系砂岩	30.0						
珠海湾仔隧洞	松散残坡积层	6.40						
辽宁引碧入连	Ⅳ～Ⅴ类围岩	15.57	5.12				5.1×4.7	
云南罗碧引水隧洞	黑灰色泥岩夹粉细砂岩	0.8	0.325			60	7.1×5.2	
北京南水北调西四环浅埋软岩隧洞	第三系、第四系地层	12.64		12.64		35	ϕ5.2	
南水北调穿黄工程芒山斜井	第四系黄土	0.80		0.80	100	320	2×6.0×7.0	
南水北调穿黄工程河床段	第四系黄土、沉积砂	3.45		3.45	100	320	2×ϕ8.71	
南水北调穿黄工程进口退水洞	Q_3^{al} 粉质壤土 Q_2^{al} 粉质壤土	0.79		0.79	100		5.2×6.9	
云南星云湖、抚仙湖出流改道工程		17.87	7.12	5.65	71.43	9.20	3.2×3.4	
云南杞麓湖调引水隧洞		9.92		2.30	23.19	33.4		
			87.005	77.74				

开挖后不久发现，实际情况与勘测结果不符，而且开挖面的围岩状况并不是确定支护衬砌形式的决定因素，剧烈的变形导致离掌子面较远处的支护产生破坏，如果不补强，变形就不会停止。在覆盖超过 400m 的区段，变形速率达到 200mm/d 高速度。开挖后的几天，平均变形速率为 50～100mm/d，为Ⅴ类围岩预计变形率的 20 倍。上述区段的最大总变形为 1200mm，平均总变形超过 500mm。为此及时对Ⅳ、Ⅴ类围岩支护参数进行了修改。

在这样恶劣的条件下，隧道之所以能避免坍塌，是有效地使用了新奥法，采用了弹性（柔性）支护来控制松动变形。由于喷射混凝土的抗拉强度不高，因而纯喷射混凝土层往往因承受不了变形而破坏，所以设置钢拱架是至关重要的。同时，喷层还设置纵向变形缝，钢拱架在缝隙处设置铰链（而不是可缩接头）。在某些情况下，变形会大到使预留缝隙完全闭合，并且使喷层局部产生破坏，这就需要补强加固。在全部变形消失并达到力的平衡后再作衬砌，安全度会得到最显著提高。在决定开挖面尺寸时，考虑了变形和支护（包括仰拱补强加固所需的预留量）。

陶恩隧道工程的经验表明，有效地应用新奥法的必要条件是，掌握必要理论知识的管理人员与有实践经验的施工人员密切配合。

1.1.3 国内外软弱围岩隧洞工程研究综述

综合上述软弱围岩隧洞工程建设和研究成果介绍，可以得到如下基本看法：

（1）目前国内软弱岩体中已建成的隧洞近 200km，极软岩岩体中的隧洞约 50km，正在建设的有 13km。建成的软岩和极软岩隧洞工程，在建设过程中大多出现过较大的塌方事故，造成了国家财产的巨大损失，多数工程工期延误，投资增加，工程质量也存在一些问题。

（2）多数工程没有采用监控量测技术，对软岩和极软岩岩体的变形特性和变形规律，没有开展系统全面并结合工程建设过程进行全程跟踪研究，以利用监测信息有效地指导设计和施工。盘道岭隧洞虽然安装了一些安全监测仪器，但较为重视永久性结构的监测，对施工期的安全监测项目，缺乏系统分析，即使作了一些分析，也多在施工后期，对工程建设指导作用不大。

（3）国外资料中很少见软岩和极软岩工程建设资料，新奥法设计与施工将监控量测作为对地下工程建设进行动态设计与施工控制的有效方法，是地下工程建设中的成功经验。但大多是针对硬岩中的构造带、破碎带和较为软弱岩体而为。对在第三系半胶结状地层、第四系松散坡积物、洪积物、沉积物及 Q_2 黄土、N_2 红土等地层中修建地下工程，其力学性质和变形特性的研究几乎没有见过。

（4）由于我国地域辽阔，一些大型水利工程特别是一些大型调水工程的建设，软岩和极软岩岩体中的工程问题日益突出。为了适应这一发展需要，国内工

程技术人员开始了一些对软岩和极软岩变形特性和变形规律的研究，但多集中于理论分析，其研究成果如何具体指导软岩和极软岩工程设计和施工尚不多见。结合具体工程建设进行研究，利用捕捉的信息立即指导设计和施工并将这方法贯彻于全建设过程中，既保证施工过程中的安全，又降低工程造价，保证工期和工程建设质量，尚未见到比较全面的工程研究实例。

1.2 工程条件与立项目标

1.2.1 工程概况

深圳北线引水工程位于深圳市北部，工程的主要任务是引东江源水到宝安中西部，解决宝安中西部地区的城市用水问题。工程供水规模为120万m^3/d，供水保证率为97%，工程属Ⅱ等，工程规模为大（2）型。工程中的茜坑隧洞全长322m，设计为有压自流隧洞，水压差14.5～19.0m，设计断面为城门洞型，断面尺寸为2.5m×2.7m，采用新奥法施工。

隧洞围岩为花岗岩，进口E5＋062～＋092段30m，隧洞拱部围岩为坡残积砾质黏性土；E4＋770～＋796段26m，E4＋983～E5＋062段89m，为全风化花岗岩，保留着原状结构，结构面均已泥化，地下水较丰富，呈线流状；洞身段E4＋825～＋983为强、弱风化花岗岩，其中E4＋825～＋865段有40m左右弱风化花岗岩，风化裂隙发育，岩石较破碎，地下水较丰富，线状流水为主，为Ⅳ类围岩，其余为Ⅴ围岩，围岩稳定性较差，极易塌方，隧洞全段均为不良地质条件。

1.2.2 立项目的意义

北线引水工程入茜坑水库的隧洞工程采用新奥法施工，依据新奥法施工适时支护、控制开挖、围岩与衬砌结构联合受力等原理，通过对隧洞围岩变形规律、结构荷载情况和衬砌结构受力状态的原位监测，对围岩的稳定性和支护结构的承载能力进行分析研究，并将监测分析的信息反馈给施工单位和设计单位，及时根据分析成果调整原定的设计方案和施工方案，安全度不足的进行补强，安全裕度过大的进行调整，确定适宜的支护时间和合理的支护与衬砌结构，达到确保施工安全、加快施工进度、节约工程投资的目的。

深圳地区的隧洞工程设计多数采用新奥法，但在施工过程中，监测信息不完善、尚不能依据监测信息有效地进行围岩稳定分析和支护结构与衬砌结构应力分析，做到信息化设计和施工。严格意义上讲，现在的施工设计并不是完整的新奥法，因此，也达不到正统新奥法的效果和效益，满足不了深圳地区的工程建设和

经济发展的需要。

本项研究，根据工程建设需要，针对茜坑水库隧洞工程不良地质条件下的新奥法施工，通过对围岩、支护结构和衬砌结构的施工期状态和运行期状态监测与试验分析研究，确定一次支护参数和支护时间，选定合理的衬砌结构与衬砌施作时间；结合监测与试验成果进行计算分析和工程类比分析，确定衬砌的结构可靠性。做到在充分发挥围岩自撑能力的基础上使其逐渐形成承载拱；在充分发挥支护结构和衬砌结构的承载作用基础上，使其承担较低的变形压力，提高工程质量，加快工程进度，降低工程造价。利用上述成果指导北线隧洞工程安全施工，为优化设计提供依据，为深圳市不良地质条件隧洞工程新奥法设计、施工，提出一个先进的隧洞工程设计与施工技术。

1.2.3 项目目标

试验研究最终达到的目标：

（1）一次支护结构形式的研究，复核一次支护安全程度，根据监测信息对前期支护类型和支护参数进行可靠性分析，并根据分析提出合理支护类型和支护参数，及时确认、调整、修改支护参数或变更支护方案，指导施工，控制围岩失稳的发生和扩大，确保施工安全。

（2）混凝土衬砌可靠性研究，根据围岩变形规律的分析，确定衬砌施做时间，使衬砌承担较低的变形压力；分析衬砌的荷载和应力状态，改进结构设计，优化设计方案，降低工程造价。

（3）依据《水工隧洞设计规范》要求，采用新奥法施工的隧洞和有不良地质洞段均宜设置原型安全监测。本次试验的成果为隧洞原型安全监测提供了可靠的参考数据，本次试验埋设的设备转为运行期观测使用，监测工程运行期安全。

（4）技术推广应用，改进本区设计与施工。

1.3 研究内容

本项目研究主要目的是为北线供水输水隧洞确定新奥法合理的施工方案。依据新奥原理，通过原位监测和计算分析，研究围岩的稳定性、支护结构和混凝土衬砌结构的可靠性和合理性，确定支护类型、支护参数和支护时机。

具体研究内容如下：

（1）研究隧洞围岩变形规律，分析围岩变形稳定状态，确定支护的合理时间。

（2）支护形式和支护参数研究：分析前期支护结构的受力状态和对围岩稳定的影响，分析不同的支护参数（例如锚杆支护长度、密度、直径，钢拱架的结

构、间距，喷混凝土的强度、厚度等参数）的可靠性，提出不同地质条件下合理的支护参数。

（3）研究混凝土衬砌的受力和应力状态，复核混凝土衬砌的可靠性。

（4）隧洞混凝土衬砌应力分析：根据结合试验的监测成果，通过分析计算和工程类比确定混凝土衬砌荷载，分析在内压和外压作用下的受力特征，计算衬砌的应力，复核混凝土衬砌可靠性，优化结构设计。

（5）在隧洞施工过程中进行原位试验监测，测试不同岩石类别的围岩在施工过程中的变形和不同支护结构、衬砌结构受力变形数据。同时，收集类似工程设计计算数据，围岩的其他物理力学试验数据。

（6）分析岩体结构变形规律和稳定性，对结构荷载情况、支护结构和衬砌结构的承载能力进行分析研究。

（7）提出岩体稳定变形指标，确认、调整、修改支护参数或变更支护方案建议，衬砌结构的复核计算成果，提出评价报告和衬砌优化建议。

1.3.1　原位监测与试验

在隧洞施工过程中，根据现场地质条件，支护结构和衬砌结构的形式，对施工过程中的围岩变形、支护结构和衬砌结构受力状态等，进行原位监测和试验，取得相关数据。

同时，收集其他试验数据和类似的工程经验，收集岩石等物理力学实验数据，如密度、弹性（变形）模量、泊松比、抗压强度、抗拉强度。岩体弹性（变形）模量、岩体抗剪（断）强度等和类似工程的设计计算数据。

1. 原位监测试验项目

（1）围岩内空收敛与顶拱沉降监测：围岩变形特征（时空效应），围岩变形与开挖程序、支护关系。

（2）围岩松动范围监测：锚杆支护参数分析、岩体荷载分析，为提供稳定分析数据。

（3）岩体轴向内部位移监测：岩体深层变形特征（时空效应），岩体变形与开挖程序、支护关系，提供稳定分析数据。

（4）锚杆应力监测：分析锚杆应力分布情况，确定锚杆长度、间距的确定，提供稳定分析计算数据。

（5）支护结构与围岩接触压力监测：分析围岩与支护结构共同作用情况，确定支护参数。

（6）支护结构的应力监测：分析结构的可靠性、合理性，为进行数值计算提供数据。

（7）岩体渗透压力监测：在岩体内埋设渗压计，监测岩体渗透压力，确定结

构外水压力荷载和检验排水效果，同时根据渗透压力变化，了解基岩裂隙渗透水压的分布情况及其随时间的变化规律，分析结构的安全运行状况，为围岩的稳定分析和安全运行提供依据。

2. 监测布置

（1）围岩内空收敛与顶拱沉降监测：考虑黏弹性岩体双变量收敛回归函数的参数量，做了 20 个监测断面和断面测线布置。

（2）围岩松动范围监测：做了 2 个监测断面和断面测孔布置。

（3）围岩内部位移监测：做了 2 监测断面，每个监测断面 1 套 4 点位移监测，2 套 1 点位移监测孔布置。

（4）锚杆应力监测：做了 2 个监测断面，每个断面布置 3 根锚杆应力计。

（5）支护结构与围岩接触压力监测：做了 3 个监测断面，每个断面 5 个压力计。

（6）支护结构应力监测：做了 3 个格栅拱架应力监测断面，每个断面布置 3 支钢筋计。

（7）衬砌结构混凝土应力监测：共做了 3 个衬砌混凝土应力监测断面，每个断面布置 4 个应变计。

（8）衬砌结构钢筋应力监测：共做了 3 个衬砌混凝土应力监测断面，每个断面布置 4 个钢筋应力计。

（9）岩体渗透压力监测：在试验段地下水位较高部位做了 1 个断面，布置 4 支渗压计。

1.3.2 隧洞结构计算分析研究

隧洞围岩和结构稳定性计算分析，主要依据地质资料、试验监测成果资料、岩石室内试验数据和其他类似工程经验，和根据有关试验资料和反演计算的岩体力学参数，针对不同的工况选择进行工程计算，提出稳定计算和结构计算结果。

根据隧洞围岩特性，采用 FLAC/3D 有限差分法和 ASES 仿真技术，用不同的结构理论分析隧洞的稳定特性。主要分析计算以下内容：

1. 隧洞支护时机的研究

根据围岩变形控制理论，分析研究隧洞围岩变形规律，确定合理支护时间。

2. 隧洞施工支护形式研究

合理的支护形式研究：分析支护结构的可靠性，分析不同的支护形式（锚杆、喷层、钢拱架）对围岩稳定性的作用，提出合理的支护形式。

合理的支护参数研究：分析不同的支护参数对围岩稳定的影响，提出合理的支护参数。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com