

影响沙湾隧洞围岩稳定的因素及采取的支护措施

田赞春

(深圳市水利规划设计院,广东 深圳 518008)

摘 要:沙湾隧洞是东深供水改造工程中的一段,断面尺寸 6.8 m×7.9 m。分析了影响该隧洞围岩稳定的一些因素,介绍了不同围岩类别的支护型式及特殊地段的处理措施,并对隧洞勘察提出了一些建议。

关键词:沙湾隧洞;围岩稳定;支护型式;勘察

中图分类号:TV554⁺.12 文献标识码:B 文章编号:1672—7428(2004)07—0061—03

1 概况

东深供水工程是向香港、深圳以及工程沿线东莞提供饮用原水及农田灌溉用水的跨流域大型调水工程,随着沿河经济的发展,水质日益恶化。为了改善供水水质,实施了东深供水改造工程。深圳段沙湾隧洞是其中一段,工程于 2001 年 4 月 26 日开工,2003 年 6 月 28 日全线贯通,隧洞为低速无压引水隧洞,全长 2082.38 m,设计流量 73.3 m³/s,采用城门洞型式,断面尺寸为 6.8 m×7.9 m。

2 区域地质概况

隧洞地处珠江三角洲之东南部,梧桐山的西北侧。为低山与低丘过渡地带,总的地势是东南高,西北低,属粤东海岸莲花山山脉的西段,高程 400~700 m,多为丘陵地貌。

隧洞线路地带分布的地层,除洞口沟谷部位为第四系松散堆积层外,主要是一套内陆湖泊相砂泥质碎屑岩,地层划分隶属中生界侏罗系中统塘厦群。主要岩性有:人工填土、砂卵砾石、含碎石的粉质粘土、凝灰质粉砂岩、砂质砾岩、泥质粉砂岩、长石石英细砂岩、含角砾石英砂岩等。

隧洞工程在大地构造部位上隶属于紫金—惠阳凹陷断束,是加里东褶皱基底上发育而成的晚古生代凹陷,其后被中、新生代构造叠加、改造,发生过多期次的断裂和岩浆活动。主要断裂是深圳断裂带和北西向断裂束,此外还有比较分散、规模小的东西向断裂。

3 影响沙湾隧洞围岩稳定的几个因素

3.1 岩石强度的影响

岩性和风化程度影响围岩的抗压强度,在风化程度相同的情况下,岩性起主要作用。由于岩性不同,岩石表现出不同的物理力学参数和地质现象;岩性不一,岩石的抗压强度不一。沙湾隧洞开挖时做了点荷载试验,成果统计见表 1。

表 1 沙湾隧洞点荷载试验成果统计表

岩石类别	取样桩号	风化状态	样品数量	单轴湿抗压强度 R_c /MPa
泥质粉砂岩	0+344	微风化	13	70.06
	0+853~857	微风化	11	27.59
	1+080~091	微风化	11	30.499
石岩粉砂岩	0+968~982	微风化	12	60.96
	1+286~296	微风化	12	58.38
长石石英细砂岩	2+165	弱风化	12	82.05
粉砂质砾岩	1+155~163	微风化	10	59.31
凝灰质粉砂岩	0+218	微风化	3	68.84
混合裂岩	0+840~843	微风化	5	50.73

饱和抗压强度值具很大的离散性,其值大小与试验品的规格、荷载方向与结构面的不同交角、隐节理发育程度、公式计算、岩体均质程度、非均质岩体的各向异性都有很大关系,根据试验结果,点荷载试验取得的单轴抗压强度值稍大于岩石心样单轴饱和抗压强度。但总体上可以确定岩石的坚硬程度。岩石的坚硬程度又决定了岩石的完整程度,开挖表明,砂质砾岩的完整性大于长石石英细砂岩的完整性,而长石石英细砂岩的完整性又大于泥质粉砂岩的完整性。

另外,据岩石薄片鉴定,砂质砾岩中砾石成分主要由石灰岩屑和砂岩岩屑组成,滴稀盐酸起泡,在弱风化、强风化砂质砾岩中溶孔发育,个别部位发育直径 1 m 左右的土洞。有的为空洞,有的洞内存水。岩性的特点直接或间接地影响了岩石的抗压强度,

进而影响围岩稳定性。

3.2 风化程度的影响

沙湾隧洞中的岩石以微风化岩石为主,出口段较为复杂,有全风化岩石夹强风化岩块,有强风化岩石夹弱风化岩块,不同岩性组成不同的风化类型。

在开挖中,风化单一的围岩易于稳定,风化不一、几种风化状态并存的围岩类型在开挖中更易引起塌方,弱风化和微风化岩石需爆破开挖,爆破的冲击力极易引起洞顶部位强风化和全风化围岩的塌落,形成大面积塌方。

3.3 结构面组合状态与隧洞轴线相互关系的影响

分布地层总体产状为 $N30^{\circ}\sim 60^{\circ}E/SE\angle 20^{\circ}\sim 50^{\circ}$,基本为单斜构造,岩层倾角较缓。主要发育 3 组节理, J_1 张节理,产状 $60^{\circ}\sim 86^{\circ}/NW$ 或 $SE\angle 22^{\circ}\sim 84^{\circ}$,走向与洞轴线大致垂直或大角度斜交,该组节理裂面波状起伏,多数光滑,少量粗糙,微张至张开,充填泥质物、岩屑,部分为方解石,厚度数毫米至几厘米,延伸长,跨洞或斜跨洞者多。 J_2 纵剪节理,产状为 $320^{\circ}\sim 354^{\circ}/NE$ 或 $SW\angle 47^{\circ}\sim 89^{\circ}$,其走向与洞轴线平行或近似平行,裂面平直、光滑、多呈闭合状,少量微张,沿走向和倾向延伸较长,局部地段首尾相近的节理呈羽状排列,形成节理密集带。 J_3 斜剪节理,产状 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}/NW$ 或 $SE\angle 60^{\circ}\sim 89^{\circ}$,其走向与洞轴线小角度斜交,裂面平直,光滑,呈闭合状者多,少量微张,微张者充填岩屑、泥质物。

3 组节理倾角较陡,与缓倾角的岩层层面相互切割后,形成不稳定楔状体。极易剥离脱落,尤其是当结构面被夹泥充填时,其 ϕ 值较小,易产生坍塌,洞顶出现超挖。裂隙的密集程度与岩层的层厚决定了岩体的完整性,岩层与裂隙、隧洞的关系见图 1。

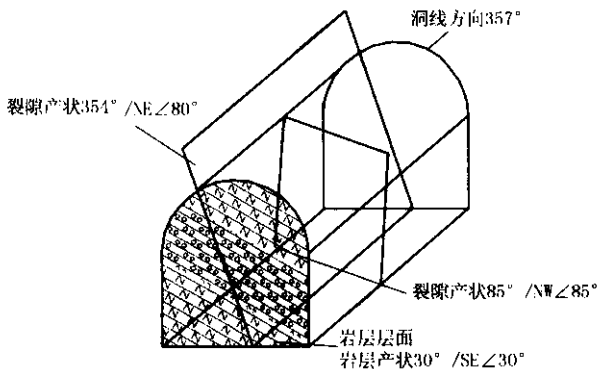


图 1 岩层与裂隙、隧洞的关系

3.4 断层的影响

北东向深圳断裂带是区内最主要构造,而北西向沙湾断裂和关帝围—莲塘断裂发育程度仅次于北

东向断裂,本隧洞线路位于深圳断裂带和沙湾断裂交汇的北部三角地带。

隧洞所经地段构造较发育,表现以节理、裂隙为主,次为小断层。无大的断裂通过。小断层共 32 条,其走向以 $285^{\circ}\sim 346^{\circ}$ 为主,其次为 $25^{\circ}\sim 90^{\circ}$,倾向北东或北西。倾角一般在 $50^{\circ}\sim 81^{\circ}$ 。断面以波状粗糙或平直光滑为主,断层宽一般在 $0.10\sim 0.50$ m,最宽 1 m,充填物为泥质、岩屑和方解石。其破碎影响带宽一般在 $0.3\sim 1.5$ m,最宽 3.5 m,为压碎岩和糜棱岩。受断层影响,岩体完整性差,局部破碎,岩体以碎裂结构为主,在开挖中易塌落,形成超挖。

3.5 地下水的影响

地下水以基岩裂隙水为主,出口段与深圳水库形成互补关系。隧洞处在深圳水库正常水位下 5 m,全洞段以渗水、滴水、潮湿为主,局部断层和节理密集地段出现线状流水和股状涌水,涌水量最大为 QCK1+732 处,为 $200\text{ m}^3/\text{天}$ 。

受地下水的影响,岩层层面、裂隙面之间的泥质充填物易被冲刷带走,形成架空,增加围岩塌方的可能性,对强风化岩石而言,地下水使岩石软化和泥化,降低岩石的强度,加上排水不畅,长期浸泡,全风化土由硬塑状向软塑、流塑状过渡,引起围岩失稳。

开挖时在不同洞段取水样分析,其化验结果表明,进口段为 CO_3-Ca 型水,地下水对砼具有溶出型中等腐蚀性。支洞段为 HCO_3-Ca 型水,地下水对砼不具有腐蚀性。出口段为 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}-\text{Ca}$ 型、 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}\cdot\text{SO}_4-\text{Ca}$ 型水,地下水对砼具分解类溶出型中等腐蚀,一般酸性弱腐蚀,碳酸型弱腐蚀,综合判定为分解类中等腐蚀。

3.6 施工方法的影响

在不同洞段的施工中,施工方法的不同,也直接或间接地影响隧洞的围岩稳定,爆破时要根据岩石强度确定合理的装药量,炮眼数量、炮眼深度、炮眼直径。沙湾隧洞断面较大,一般分次开挖,先拱后墙,在出口段,顶拱围岩较差,一般为全风化或强风化岩石,人工挖掘或风镐钻掘即可,而边墙为弱风化或微风化岩石,在边墙施工开挖时,需爆破,受爆破震动,洞顶的围岩易松动塌落,引起拱架变形。所以在开挖时,时刻贯彻“弱爆破,短进尺,强支护”,尽量减少爆破的冲击和震动。

4 不同围岩类别的支护型式和特殊地段的处理

4.1 不同围岩类别的支护型式

根据沙湾隧洞的地层情况和隧洞类型,隧洞设计支护形式见表 2。

表 2 隧洞衬砌简表

围岩类别	初期支护形式(一衬)	最终支护形式(二衬)
Ⅲ	拱部、边墙系统 $\varnothing 22$ mm 锚杆, $L=3$ m, 间距 $1.2\text{ m}\times 1.2\text{ m}$; $\varnothing 6$ mm、 $15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 单层钢筋网, 喷 C20 砼 10 cm , 底部设 10 cm 水泥砂浆垫层	模筑 C25 钢筋砼, 边、拱厚 40 cm , 底厚 45 cm
Ⅳ	拱部设超前 $\varnothing 25$ mm 砂浆锚杆, $L=3.5$ m, 间距 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$; 边墙系统砂浆锚杆, $L=3.5$ m, 间距 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$; 全封闭格栅钢架, 纵向间距 1 m ; $\varnothing 6$ mm、 $15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 钢筋网, 喷 C20 砼 25 cm	模筑 C25 钢筋砼, 边、拱厚 50 cm , 底厚 60 cm
Ⅴ	超前小导管注浆, $\varnothing 42$ mm, $L=3$ m, 环向间距 0.3 m , 纵向间距 1.6 m ; 边墙、底采用 $\varnothing 25$ mm 锚杆, $L=3.5$ m, 环向间距 1.2 m , 纵向间距 1 m ; 全封闭格栅钢架, 纵向间距 1 m ; $\varnothing 6$ mm、 $15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 双层钢筋网, 喷 C20 砼 30 cm	模筑 C25 钢筋砼, 边、拱厚 60 cm , 底厚 80 cm
V 加强	超前小导管注浆, $\varnothing 42$ mm, $L=3$ m, 环向间距 0.3 m , 纵向间距 1 m ; 边墙、底采用 $\varnothing 25$ mm 锚杆, $L=4\text{ m}$, 环向间距 1.2 m , 纵向间距 1 m ; 全封闭格栅钢架, 纵向间距 1 m ; $\varnothing 6$ mm、 $15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 双层钢筋网, 喷 C20 砼 30 cm	模筑 C25 钢筋砼, 边、拱厚 60 cm , 底厚 90 cm

4.2 特殊地段的处理

4.2.1 QCK0+834~838 段

开挖后支护不及时,先后造成 3 次坍塌,处理时,先用钢管、钢筋网挡住顶拱岩石,喷 C20 砼,先固结围岩,防止再次塌落,边墙支设格栅钢拱架,榀/1 m,再喷厚 25 cm 的 C20 砼,达到一定强度后,再注浆回填。

4.2.2 进口洞脸的处理

洞脸上方为土质边坡,高度大、且有公路在洞顶通过,施工时,先打土钉,长度分别为 6、8、10、12 m, $\varnothing 22$ mm 锚杆长 2.5 m,梅花形布置,间距 $1.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}$, $\varnothing 6.5$ mm 钢筋,规格 $15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$,喷厚 10 cm 的 C20 砼。边坡稳定可靠。

4.2.3 出口洞脸的处理

隧洞出口段洞顶较薄,上部为人工填土、坡积土、全风化土,厚度仅为 11 m。在隧洞洞脸上方布置锚墩,共 18 个,自上而下分别为:第一排 8 个,第二排 7 个,第三排 3 个,锚墩尺寸 $1.25\text{ m}\times 1.25\text{ m}$;在隧洞洞脸下方布置冲孔桩两排,隧洞左侧横向 3 个,纵向 6 个,呈直角形,隧洞右侧横向 6 个,冲孔桩桩径 1.2 m,桩底座落于强风化石石英砂岩上,可以满足承载力要求。

4.2.4 出口段拱架变形段的处理

出口段 1+740~800 段在开挖下导时,由于爆破施工引起拱顶上部塌落,拱架拱脚处收缩变形,减小了隧洞断面,为了减小变形,采取了如下措施:一是加强了变形测量观测;二是在起拱线上拱脚处加设横撑;三是回填灌浆;四是增打土钉和集束锚杆,长度 8 m,集束锚杆预留 1.5 m 长的接头,相邻的集束锚杆接头焊接,形成整体。处理后经过观测未发现进一步变形,围岩趋于稳定。

5 体会和建议

(1)勘探线与实际洞线偏离太远,位移最大达 44 m,是本次勘察结果误差较大的主要原因,例如原勘察线路 II 类围岩段有较长的砾岩分布段,实际开挖线路并无砾岩,或砾岩很少,以团块状透镜体出现,表明场地地质条件复杂。

(2)因该洞洞径较大,为施工安全和保证长期安全运行,在施工期间的围岩划分中,比较保守,这也是隧洞围岩类别划分与实际开挖出入较大的原因之一。

(3)对围岩类别的认识问题,需要一个统一、细化标准,划分围岩类别的方法有多种,有普氏分类法、泰沙基分类法、按岩体质量等级的围岩分类;另外,水利水电部门与铁道部门划分的又不一样,水利水电划分为 5 种围岩类别,铁道部门划分为 6 种围岩类别。地质情况千变万化,在界线模糊的情况下,如何划分围岩类别,需要定性化和定量化,并进行综合分析;另外,除考虑地质情况外,还要考虑洞径大小、隧洞功能、设计支护型式。

(4)缺乏对勘察资料的总体分析,是导致本次勘察结果误差较大的因素之一。例如:

①一是断层的推断,根据钻孔打到的断层和区域地质资料的推断,判别断层的产状、性质、规模,再据断层的倾角和方位判定断层与隧洞的相交位置,结果与实际开挖相差太大,推断的证据和依据需要推敲。二是不同岩石的接触关系,在剖面图中,均画为整合接触,而在实际开挖中,该种现象极为少见,一个小的错动、挤压或断层、风化带均可造成不同岩层的错动,引起岩层倾角、厚度的变化。

②对断层的认识,在以往的工作经验中,往往谈“断”色变,一提断层,在隧洞中就划为 V 类围岩,实

《中国超硬材料新技术与进展》读后

耿瑞伦

(中国地质调查局发展研究中心,北京 100037)

中图分类号:TG732 文献标识码:C 文章编号:1672-7428(2004)07-0064-01

《中国超硬材料新技术与进展》一书作者方啸虎教授是我国超硬材料研究和企业界知名专家之一。1971 年始至今一直致力于以人造金刚石为主的研究与生产技术工作,积 30 余年经验,尽管开始着眼点是为解决地质钻探用金刚石钻头材料问题,而后根据中国国情在超硬材料领域从事了多项内容的研究与开发创新实践,成就多多,对我国超硬材料技术与生产进步,作出了卓越贡献。

本书着重介绍超硬材料机理、扩大合成金刚石腔体、相对平衡理论与相对低温理论、高品质金刚石合成、粉末触媒合成作用、提高顶锤寿命、小压机(280~320 mm 缸径的压机国内现有 3700 台左右)实现较大腔体生产金刚石等具有中国特色的理论与实践经验。并且对未来发展提出了建设性意见,如规模化生产、压机大型化、高强度金刚石和立方氮化硼以及多品种产品开发等。

我国 1900 年前后出现国外地质岩心钻机伴随有手镶和机镶天然金刚石钻头。1947~1948 年小批量引进美国长年公司金刚石钻机和钻头。这说明我国接触和采用金刚石钻进技术为时并不算晚,只是我国自行制造使用金刚石钻头则滞后于世界发达

国家。包括天然金刚石和人造金刚石钻头均始于 1970 年前后。尤其是随着人造金刚石的批量生产,促进了大规模金刚石钻进技术的推广应用。我国机械、冶金、地质、煤炭、核工业等行业均同时在研制与推广应用方面作出了成绩与贡献。方啸虎教授就是先行者之一。本书含盖了作者 30 余年的业绩精华与研究成果。除主要有自己撰写外,还纳入了我国十多位同行专家的代表作,称得起是我国超硬材料界一部科技集大成的巨著。全书 80 余万字,图文并茂,可参用的实际资料数据详实,对相关科研、生产、教学都有重要参考与促进作用。本书无疑也真实体现了作者的价值观与事业及敬业的理想。有了丰硕的科研成果与创业业绩,才能撰写出有丰富内容与有价值的论著。本书应是一例。我作为本书作者的同行与挚友,并曾担任其任厂长的桂林金刚石厂技术顾问,特写此读后感以表钦佩之意。

收稿日期:2004-06-28

作者简介:耿瑞伦(1928—),男(汉族),江苏江阴人,中国地质调查局发展研究中心教授级高级工程师,吉林大学、中国地质大学(武汉)兼职教授,中国大陆科学钻探工程中心工程部级高级顾问,《探矿工程(岩土钻掘工程)》杂志顾问。

(上接第 63 页)

实际上,有的断层也并不可怕,关键看断层的规模、大小、宽度、性质、胶结情况、走向、倾角、与隧洞的交角等,隧洞对围岩的影响,大小不一,有的只是对岩体的完整性影响一点,地下水的水量大小也不一样,有的只是轻微滴水。对洞身段的围岩稳定不会造成大的影响,不能一概而论之。

(5)勘察工程是一个系统工程,需要不同专业的技术人员相互配合,水文地质、工程地质、钻探工程、物探、测量、土工试验、施工组织等等密切配合,必须抓好每一个环节,某一个环节的失误都将会导致判

断上的错误。从测量地形图的精确度、钻孔孔位定位、钻探取心(样)质量、原位测试、地下水位观测、地下水水量的判别、土工试验资料、物探成果、岩矿分析结果、剖面图的每一条线的画法,到最终成果的每一个字都要仔细推敲,力求数据真实、可靠、准确。

优化勘察方法,细化勘察环节,确保勘察精度。勘察技术人员除了要充分了解工程性质、设计图纸、还需要预测工程施工中将会遇到的工程地质问题,并作出相应的处理方案和建议,充分发挥地质人员在施工过程中的指导作用。