



隧道工程修建关键技术丛书

不良、特殊地质条件隧道 施工技术及实例 (三)

BULIANG TESHU DIZHI TIAOJIAN SUIDAO
SHIGONG JISHU JI SHILI

肖广智 编著



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



隧道工程修建关键技术丛书

不良、特殊地质条件隧道 施工技术及实例(三)

BULIANG TESHU DIZHI TIAOJIAN SUIDAO
SHIGONG JISHU JI SHILI

肖广智 编著



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

内 容 提 要

全书共分为七章,主要对膨胀性围岩、大断面黄土、岩溶、花岗岩全(强)风化地层、上软下硬地层等不良、特殊地质条件下隧道的施工技术进行系统介绍,同时辅以丰富的工程实例,增强了隧道施工技术的适用性、针对性和实用性。书中还对隧道施工岩爆防治、衬砌开裂及治理进行了系统阐述。

本书可供从事隧道与地下工程建设管理、设计、施工的工程技术人员学习参考,同时也可作为相关院校师生的学习资料。

图书在版编目(CIP)数据

不良、特殊地质条件隧道施工技术及实例. 三 / 肖广智编著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016.7

ISBN 978-7-114-13006-9

I. ①不… II. ①肖… III. ①隧道施工 IV. ①U455.49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 103517 号

隧道工程修建关键技术丛书

书 名:不良、特殊地质条件隧道施工技术及实例(三)

著 者:肖广智

责任编辑:张江成

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:15.75

字 数:402千

版 次:2016年7月 第1版

印 次:2016年7月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13006-9

定 价:58.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

作者简介



肖广智,现任中国铁路总公司工程管理中心副总工程师,教授级高工。毕业于西南交通大学铁道工程系隧道与地下铁道专业,1984年7月至2005年9月,在中铁隧道勘测设计院工作,历任设计副部长、副总工程师、总工程师等职,2005年9月至今,在中国铁路总公司(原铁道部)工程管理中心工作,历任桥隧部副部长、副总工程师等职。

长期从事隧道与地下工程的设计施工技术研究和管理工作,在城市浅埋暗挖工程设计施工技术、特殊地质条件隧道设计施工技术等方面积累了丰富的经验。撰写论文二十余篇,获国家科技进步奖两项、省部级科技进步奖六项、国家优秀设计奖两项。曾获火车头奖章、詹天佑人才奖、茅以升铁道工程师奖等。

前 言

本人自调入中国铁路总公司(原铁道部)以来,主要负责铁路隧道技术管理工作,其中最主要的工作就是组织研究解决复杂、重难点、高风险隧道的施工技术难题及现场施工推进。多年来深入施工现场,开展科技攻关,组织研究解决了几十座特殊及复杂地质条件隧道施工技术难题,确保了施工正常推进,推动了隧道工程的技术进步,同时积累了大量复杂地质条件的工程案例经验。把这些工程案例经验进行系统归纳、总结、提炼,以期对类似工程提供借鉴,是我多年的心愿,也是广大工程技术人员的期盼。

本书为《不良、特殊地质条件隧道施工技术及实例(一)》《不良、特殊地质条件隧道施工技术及实例(二)》的续集。全书共分为七章,第一章膨胀性围岩隧道,介绍了膨胀性土(岩)的概念,膨胀性围岩的类型和特性、物理力学指标和判别标准及勘察、设计、施工原则,中南部铁路通道南吕梁山、侯月铁路桃坪隧道案例;第二章大断面黄土隧道,介绍了黄土特性,大断面黄土隧道修建技术研究成果、设计、施工原则,富水黄土隧道快速施工、下穿构筑物、地基加固等施工技术,黄土隧道施工病害成因及预防、处理措施;第三章岩溶隧道,介绍了岩溶隧道研究成果、勘察设计、施工问题,勘察、选线原则,设计、施工原则,大型溶腔施工处治案例,近期部分运营隧道岩溶水病害及处治;第四章岩爆防治,介绍了岩爆类型及烈度分级、发生机理及研究方法、预测及防治措施,石太客专南梁、武广客专牛岭隧道岩爆施工案例;第五章花岗岩全(强)风化地层隧道,介绍了花岗岩全(强)风化地层围岩特性,施工中存在的主要问题、施工技术,广深港客专益田路、温福线刘洋寨隧道施工案例;第六章上软下硬地层隧道,介绍了上软下硬地层工程地质特性及工程问题,隧道设计、施工原则,宝兰客专石鼓山、上庄隧道及黄韩侯铁路如意隧道、太中银铁路兴旺峁隧道穿越上软下硬地层施工案例;第七章隧道衬砌开裂及治理,介绍了衬砌开裂类型、原因分析、处理措施,神延铁路翅膀沟、四角田公路隧道及大西客专、合福客专某隧道衬砌开裂、治理案例。

郑州、西安、南宁、成都铁路局,郑西、武广、石太、大西、广深港、宝兰、合福铁路客运专线有限责任公司,贵广铁路有限责任公司,云桂铁路有限责任公司,晋豫鲁铁路通道股份有限公司,中铁第一勘察设计院集团有限公司,中铁二院工程集团有限责任公司,铁道第三勘察设计院集团有限公司,中铁第四勘察设计院集团有限公司,中铁第五勘察设计院集团有限公司,中铁工

程设计咨询集团有限公司,中铁隧道勘测设计院有限公司,中铁隧道集团,中铁第一、二、三、四、五、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一、二十二、二十三、二十五局集团公司,中建铁路建设有限公司等单位提供了工程案例和部分专题研究成果资料,在此表示感谢。

感谢同事韩贺庚、张民庆、任诚敏、游旭、刘俊成、吴川等参加了本书的资料整理工作。

由于时间急迫,水平有限,书中难免有错误之处,敬请读者批评指正!

作者
2015年12月

目 录

第一章 膨胀性围岩隧道	1
第一节 膨胀性土(岩)的概念	1
第二节 膨胀性围岩的类型和特性	2
第三节 膨胀性围岩的判别标准	3
第四节 膨胀性围岩的勘察	6
第五节 膨胀性围岩隧道设计、施工原则	8
第六节 膨胀岩隧道设计施工现状与实例分析	9
第七节 山西中南部铁路通道南吕梁山隧道出口段衬砌开裂及治理	14
第八节 侯月铁路桃坪隧道衬砌开裂及治理	29
第二章 大断面黄土隧道	37
第一节 黄土特性	37
第二节 大断面黄土隧道修建技术研究成果	38
第三节 大断面黄土隧道设计、施工原则及措施	44
第四节 富水黄土隧道快速施工技术(以张茅隧道为例)	45
第五节 黄土隧道下穿构筑物施工技术	56
第六节 黄土隧道地基加固施工技术	68
第七节 黄土隧道施工病害成因及预防、处理措施	72
第三章 岩溶隧道	75
第一节 铁路岩溶隧道建设	75
第二节 岩溶隧道勘察设计特点及施工突水、突泥实例	83
第三节 岩溶隧道勘察、选线原则	85
第四节 岩溶隧道设计原则	87
第五节 岩溶隧道施工技术	90
第六节 大型溶腔施工处治案例	110
第七节 近期部分运营隧道岩溶水病害及处治	135
第四章 岩爆防治	151
第一节 岩爆类型及烈度分级	151

第二节	岩爆发生机理及研究方法	152
第三节	岩爆预测	154
第四节	岩爆防治措施	157
第五节	石太客专南梁隧道高(极高)地应力岩爆施工技术	158
第六节	武广客专牛岭隧道岩爆防治技术	163
第五章	花岗岩全(强)风化地层隧道	165
第一节	花岗岩全(强)风化地层围岩特性	165
第二节	花岗岩全(强)风化地层施工中存在的主要问题	166
第三节	花岗岩全(强)风化地层隧道施工技术	166
第四节	广深港客专益田路隧道花岗岩全风化地层施工技术	175
第五节	温福线刘洋寨隧道花岗岩全风化地层施工技术	177
第六章	上软下硬地层隧道	179
第一节	上软下硬地层工程地质特性及工程问题	179
第二节	上软下硬地层隧道设计、施工原则	179
第三节	宝兰客专石鼓山隧道穿越上软下硬地层施工技术	180
第四节	宝兰客专上庄隧道穿越上软下硬地层施工技术	186
第五节	黄韩侯铁路如意隧道穿越上软下硬地层施工技术	198
第六节	太中银铁路兴旺岭隧道穿越上软下硬地层施工技术	207
第七章	隧道衬砌开裂及治理	217
第一节	隧道衬砌开裂类型	217
第二节	隧道衬砌开裂原因分析	218
第三节	隧道衬砌开裂处理措施	219
第四节	神延铁路翅膀沟隧道衬砌开裂及治理	220
第五节	四角田公路隧道衬砌变形开裂及治理	221
第六节	大西客专某隧道衬砌开裂及治理	223
第七节	合福客专某隧道衬砌开裂及治理	233
参考文献		241

第一章 膨胀性围岩隧道

第一节 膨胀性土(岩)的概念

一、膨胀土

膨胀土是指土中黏粒成分主要由亲水矿物组成,具有吸水显著膨胀、软化、崩解和失水急剧收缩、开裂,并能产生往复胀缩变形的黏性土。

土中所含的黏土矿物主要指蒙脱石、伊利石、高岭石等。膨胀土物质成分中蒙脱石含量、黏土矿物总量及粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的含量,是决定膨胀土膨胀潜势大小、物理力学性质及其变化的主要物质基础。自由膨胀率 F_s 是膨胀土的重要判别指标。

二、膨胀岩

膨胀岩是指含有较多亲水矿物,含水率变化时发生较大体积变化的岩石。其具有遇水膨胀、软化、崩解和失水收缩、开裂的特性。

三、红黏土

红黏土是指经红土化作用形成的棕红、褐黄等色并覆盖于碳酸盐岩系地层之上,具有表面收缩、上硬下软、裂隙发育和较显著的胀缩性、液限 $w_l \geq 50\%$ 的黏性土。其经搬运、沉积后仍保留上述基本特征,且液限 $w_l > 45\%$ 的土称为次生红黏土。

红黏土是我国红土的一个亚类。它形成的本质在于红土化作用。不论何种岩石,经红土化作用都可形成红土。而红黏土仅指碳酸盐类岩石和间夹其中的非碳酸盐类岩石,经红土化作用形成并覆盖于碳酸盐岩系之上的(残、坡积)红土。

红黏土中含有大量亲水性黏土矿物,其物质组成、地貌形态、工程特性等与膨胀土有许多相同或相似之处,具有很强的胀缩性,其自由膨胀率 F_s 可远远超过 40% 。红黏土的含水率一般是自上而下逐渐增大,至基岩面附近可呈软塑~流塑状,强度降低,故表现为上硬下软。红黏土具有很强的收缩性,且通常是水平收缩大于垂直收缩,因而又具有表面收缩、裂隙发育的特点,甚至产生深、大地裂。

当红黏土达到膨胀土标准时,应按膨胀土对待;未达到膨胀土标准的红黏土,按一般黏性土对待,应注意其具有高液限、高塑性、高孔隙性、较高的强度和偏低的压缩性、较高的胀缩性,且水平收缩大于垂直收缩等特性。

第二节 膨胀性围岩的类型和特性

一、膨胀性围岩的类型

膨胀性围岩通常是指在水的物理化学作用下,发生体积增大的围岩。常见膨胀性岩石种类有泥岩、页岩、长石云母、蛇纹岩和含硬石膏(CaSO_4)、无水芒硝(Na_2SO_4)、钙芒硝($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$)等岩石,以及主要由强亲水性矿物组成的黏土等。

1991年1月,中国科学院地质所曲永新等《中国东部膨胀岩的研究》中提出,中国膨胀岩按成因可分为5类。

(1)沉积型泥质膨胀岩。铁道部科学研究院西北分院、西南交通大学、铁一院王小军等于1995年12月在《膨胀岩的工程特性及判别标准与分类》研究报告中提出,该类膨胀岩地层时代以石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第三系为主,可细分为4个亚类:

- ①晚二叠系泥质膨胀岩。
 - ②上侏罗统一白垩系泥质膨胀岩。
 - ③下第三系泥质膨胀岩。
 - ④上第三系泥质膨胀岩。
- (2)蒙脱石化中基性火成岩类膨胀岩。
 (3)蒙脱石化凝灰岩类膨胀岩。
 (4)断层泥类膨胀岩。
 (5)含硬石膏和无水芒硝类膨胀岩。

上述5种类型膨胀岩中,前4种的膨胀实质是所含亲水矿物的吸水膨胀;第5种则是水化学作用产生的硬石膏 \rightarrow 石膏、无水芒硝 \rightarrow 芒硝的转化膨胀。5种类型膨胀都与水的关系极大。膨胀岩与膨胀土虽然在物质组成、成岩程度、结构构造及物理力学性质等方面差异都甚大,但均具有显著的吸水膨胀,失水收缩、开裂,并产生往复胀缩变形的性能,但对于膨胀岩的研究目前尚不充分,有待于在工程实践中进一步积累资料。

二、膨胀性围岩的特性

(1)泥质膨胀性围岩的膨胀程度取决于黏土颗粒间的膨胀量,和含有膨胀性晶体的黏土矿物的情况。具有膨胀性晶体的含量越高,其膨胀量越大,含膨胀晶体的矿物有蒙脱石、蛭石、高岭土和蒙脱石—伊利石、蒙脱石—绿泥石的混合矿物等。如柯绿泥石是具有片状结构的黏土矿物,水在层间渗透而引起结晶膨胀,未溶解的晶体基面间距为 $2.9 \times 10^{-9}\text{m}$,吸水后增至 $3.3 \times 10^{-9}\text{m}$,使体积增大14%。

(2)含硬石膏和无水芒硝类膨胀性围岩,硬石膏遇水发生化学变化而成软石膏($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),体积可增大61%;含芒硝的岩石遇水发生化学变化,其体积可增大135%。

(3)泥质膨胀性围岩性状变化主要由岩石含水率变化引起的,若能保持开挖前的含水率,通常不具备膨胀特性;但开挖后膨胀性围岩逐渐干燥失水,再遇水便要膨胀崩解,其干燥失水越多,膨胀量越大。天然断层泥、泥化夹层,在天然湿度下可直接吸水而发生膨胀和软化。

(4) 膨胀性围岩除具有吸水膨胀的特性外,一般还具有显著的流变特性,可持续3~5年。

第三节 膨胀性围岩的判别标准

影响膨胀性围岩性能变化的因素很多,如膨胀性矿物的成分与含量、物理力学指标、地下水、支护和施工方法等。目前对于正确判断膨胀性围岩等级、膨胀量和膨胀压力等指标,尚无统一的判别标准,相应工程措施也在研究之中。

膨胀性围岩判别角度:

- (1) 膨胀性岩矿物性能:蒙脱石含量,阳离子交换量,2 μm 以下粒径所占数量、液限等。
- (2) 岩块膨胀性能:岩块的干燥饱和吸水率、岩块崩解度、软化系数和胶结强度等。
- (3) 隧道膨胀性围岩:围岩膨胀率、膨胀范围、膨胀压力等。

一、国内标准

采用的国内标准为《铁路工程特殊岩土勘察规程》(TB 10038—2001)、《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2007)。

1. 膨胀土

(1) 初判

膨胀土应根据地貌、颜色、结构、土质情况、自然地质现象和土的自由膨胀率等特征,按表1-3-1初步综合判定。

膨胀土初判标准

表 1-3-1

地貌	具垄岗式地貌景观,常呈垄岗与沟谷相间;地形平缓开阔,无自然陡坎,坡面沟槽发育
颜色	多呈棕、黄、褐色,间夹灰白、灰绿色条带或薄膜;灰白、灰绿色多呈透镜体或夹层出现
结构	具多裂隙结构,方向不规则;裂面光滑,可见擦痕;裂隙中常充填灰白、灰绿色条带或薄膜
土质情况	土质细腻,具滑感,土中常含有钙质或铁锰质结核或豆石,局部可富集成层
自然地质现象	坡面常见浅层溜坍、滑坡、地面裂缝;当坡面有数层土时,其中膨胀土层往往形成凹形坡;新开挖的坑壁易发生坍塌
自由膨胀率 F_s	$F_s \geq 40\%$

(2) 详判

膨胀土应根据自由膨胀率、蒙脱石含量、阳离子交换量3项指标详判。当符合表1-3-2中两项指标时,判定为膨胀土。

膨胀土详判指标

表 1-3-2

名称	判定指标	名称	判定指标
自由膨胀率 F_s (%)	≥ 40	阳离子交换量 $\text{CEC}(\text{NH}_4^+)$ (mmol/kg)	≥ 170
蒙脱石含量 M (%)	≥ 7		

注:表中 CEC 表示 1kg 干土的阳离子交换量。

(3) 潜势分级

按表 1-3-3 进行潜势分级。

潜势分级

表 1-3-3

分级指标	弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
自由膨胀率 F_s (%)	$40 \leq F_s < 60$	$60 \leq F_s < 90$	$F_s \geq 90$
蒙脱石含量 M (%)	$7 \leq M < 17$	$17 \leq M < 27$	$M \geq 27$
阳离子交换量 CEC (NH_4^+) (mmol/kg)	$170 \leq \text{CEC}(\text{NH}_4^+) < 260$	$260 \leq \text{CEC}(\text{NH}_4^+) < 360$	$\text{CEC}(\text{NH}_4^+) \geq 360$

2. 膨胀岩

(1) 根据野外地质特征进行初判,如表 1-3-4 所示。

膨胀岩的野外地质特征

表 1-3-4

地貌	一般形成波状起伏的低缓丘陵,相对高度 20~30m,丘顶多浑圆,坡面圆顺,山坡坡度缓于 40° ,岗丘之间为宽阔的 U 形谷地;当具有砂岩夹层时,常形成一些陡坎
岩性	主要为灰白、灰绿、灰黄、紫红和灰色的泥岩、泥质粉砂岩、页岩、风化的泥灰岩、风化的基性岩浆岩、蒙脱石化的凝灰岩以及含硬石膏、芒硝的岩石等;岩石由细颗粒组成,遇水时多有滑腻感;泥质膨胀岩的分布地层以石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、第三系为主
结构特征	岩层多为薄层和中、厚层状,裂隙发育,裂隙多被灰白、灰绿色等富含蒙脱石物质充填
风化	风化裂隙多沿构造面、层理面进一步发展,使已被结构面切割的岩块更加破碎;地表岩石碎块风化为鸡粪土,剥落现象明显;天然含水的岩石在暴晒时多沿层理方向产生微裂隙;干燥的岩块泡水后易崩解成碎块、碎片或土状

(2) 室内试验判断指标,如表 1-3-5 所示。

膨胀岩的室内试验判断指标

表 1-3-5

试验项目		判定指标
自由膨胀率 F_s (%)	不易崩解的岩石	$F_s \geq 3$
	易崩解的岩石	$F_s \geq 30$
膨胀力 P_p (kPa)		$P_p \geq 100$
饱和吸水率 W_{sa} (%)		$W_{sa} \geq 10$

注:当有两项符合所列指标时,可判断为膨胀岩。

(3) 利用部分研究成果,进行判别。原铁道部工程隧道局、西南交通大学董新平等在综合研究国内外大量研究成果的基础上,主要采用和发展了铁科院西北分院等的研究成果,1999年12月在《铁路膨胀岩隧道修建技术研究》中提出了膨胀岩的判别方法。

①按崩解特征分类,见表 1-3-6。

膨胀岩按崩解特征分类

表 1-3-6

类别	崩解特征及质量变化
非膨胀岩	泡水 24h 岩块完整、不崩解,质量增加小于 10%
弱膨胀岩	泡水后有少量岩屑下落,几小时后岩块开裂成直径 0.5~1cm 的碎块或大片,手可捏碎,质量可增加 10% 左右
中等膨胀岩	泡水后 1~2h 崩解为碎片,部分下落,碎片尚不能捏成土饼,质量可增加 30%~50%
强膨胀岩	泡水后即立刻剧烈崩解,成土状散落,水浑浊,10min 可崩解 50%,20~30min 崩解完毕

②按分级指标分类,见表 1-3-7。

膨胀岩按分级指标分类

表 1-3-7

类别	膨胀率 V_H (%)	膨胀力 P_p (kPa)	饱和吸水率 W_{sa} (%)	自由膨胀率 F_s (%)
非膨胀岩	<3	<100	<10	<30
弱膨胀岩	3~15	100~300	10~30	30~50
中等膨胀岩	15~30	300~500	30~50	50~70
强膨胀岩	>30	>500	>50	>70

二、国外标准

(1)澳大利亚对膨胀土分级规定,见表 1-3-8。

澳大利亚膨胀土分级

表 1-3-8

膨胀土等级	膨胀量 (%)	线收缩率 (%)
极强	>31	>17.5
强	16~30	12.5~17.5
中	8~15	8~12.5
弱	<7.5	5~8

(2)日本《新奥法设计施工指南》(1985年版)提出泥质膨胀性围岩判别指标,见表 1-3-9。

日本膨胀土分级

表 1-3-9

按亲水性分级	自由膨胀率 (%)	蒙脱石含量 (%)
强	>100	>25
中	70~100	15~25
弱	40~69	7~14

日本《山岭隧道技术规范》(1977年版)介绍了几座隧道的膨胀性围岩的物理力学指标和膨胀岩等级,见表 1-3-10。

日本几座隧道的膨胀性围岩的物理力学指标和膨胀岩等级

表 1-3-10

项目	膨胀性强的围岩中的隧道					膨胀性弱的围岩中的隧道				
	大洋三号	六日可	赤仓	锅立山	颈城	赤仓	颈城	木浦	名立	
隧道名称	大洋三号	六日可	赤仓	锅立山	颈城	赤仓	颈城	木浦	名立	
线名	上越新干线	上越新干线	北越北线	北越北线	北陆本线	北越北线	本陆本线	北陆本线	北陆本线	
取样地点	大宫起点 162km + 340m	大宫起点 171km + 400m	六日町起点 5km + 200m	六日町起点 34km + 073m	米原起点 338km + 940m	六日町起点 6km + 657m	米原起点 348km + 000m	米原起点 336km + 456m	米原起点 349km + 370m	
重度 (kN/m ³)	17.9	19.8	21.2	19.7	21.4	21.0	17.5	17.2	16.9	
粒径分配 (%)		9.0	10.0	2.0	1.0	9.0	2.5	0.0	15.0	36.0
	砂、粉	41.0	40.0	42.5	34.0	54.0	68.0	61.0	66.0	44.0
	砂、黏土	50.0	50.0	55.5	65.0	37.0	29.5	30.0	19.0	20.0
	2 μ m 以下土质分类	36.0	37.0	43.0	51.0	—	16.8	20.0	—	—
	黏土	黏土	黏土	黏土	黏土	淤泥质黏土卢姆	淤泥质黏土卢姆	淤泥质黏土卢姆	淤泥质黏土卢姆	

续上表

项 目		膨胀性强的围岩中的隧道					膨胀性弱的围岩中的隧道			
单向抗压强度(MPa)		0.48	1.28	4.31	2.35	6.10	3.68	7.50	7.30	3.04
稠调 (%)	液性极限	72	47	92	77	—	58	—	—	—
	塑性极限	39	27	20	28	—	17	—	—	—
	塑性指数	34	21	72	49	—	40	—	—	—
阳离子交换量 (meg/100g)		20	19	39	18	—	2	—	—	—
浸水崩解度		C	D	—	D	D	—	A	A	B
埋深(m)		45	50	130	100	120	430	112	70	300
围岩强度比		0.59	1.29	1.58	1.19	2.38	0.39	3.82	6.08	0.60

- 注:1.表中数值是认为能在一定程度上代表取样地点围岩物性的,但在膨胀性强的围岩隧道中,其单向抗压强度,因有裂缝的处理及试件的制造等问题,就不能把得出的数值当作围岩的强度。
- 2.碱性置换容量是利用黏土矿物(特别是膨润土)所带的金属离子的吸着性质,而从所吸着的离子量来评价膨润土含量的一种表示法(群马—良横川产的膨润土约为80meg/100g)。
- 3.浸水崩解度是表示把烤箱烤干的岩石浸入水中时崩坏的程度,A表示无任何变化,D表示完全崩坏,B、C表示中间程度。
- 4.围岩强度比为单向抗压强度/(重度×埋深)。

第四节 膨胀性围岩的勘察

一、工程地质选线

膨胀土(岩)地区工程地质选线应符合下列要求:

- (1)线路宜避开中、强膨胀土区,避开土层呈多元结构或有软弱夹层的地带,无法绕避时,应以短距离通过。
- (2)线路宜绕避地下水发育的膨胀土(岩)地段。

二、地质调绘

(1)膨胀土(岩)和红黏土地质调绘前应搜集下列资料:

- ①地形地貌、区域地质、工程地质、水文地质、地震及自然灾害等区域性膨胀土(岩)和红黏土资料。
 - ②遥感图像及解译资料。
 - ③气象资料,包括降雨量、蒸发量、地温、气温、大气影响深度等资料。
 - ④既有建筑物的勘察设计与变形、破坏情况及病害整治资料。
- (2)膨胀土(岩)和红黏土遥感图像解译应包括下列内容:
- ①地层岩性、地貌类型及形态特征、分布范围、所处的地质环境和地貌部位。
 - ②不良地质现象,如冲沟、滑坡、坡面冲刷、泥石流及岩溶漏斗、洼地、落水洞、暗河等的分

布、范围及规模。

- ③植被发育情况,井、泉点及地表水体。
- ④地质构造类型、形态、产状等。
- ⑤必要时,经现场核对后,可编制遥感解译图。

(3)膨胀土(岩)地质调绘应包括下列内容:

①地形地貌特征,尤其是微地貌特征,包括斜坡自然坡度、高度、冲沟、坡面冲刷、剥落、地表植被生长状况等。

②地层时代、成因、岩性、结构、分布范围,有无软弱夹层,湿度及包含物等,膨胀岩风化程度。

③膨胀土(岩)中的裂隙发育程度、形态、分布密度、产状、充填物性质及裂面特征,膨胀土下伏基岩的岩性、结构面特征。

④不良地质现象的类型、形成原因、分布范围、规模及对工程的危害程度。

⑤地表水的集聚情况和排泄条件,地下水的类型、埋藏深度和变化规律。

⑥当地建筑经验,既有建筑物变形和破坏情况,基础类型和埋深,膨胀土(岩)人工边坡高度、坡率以及防治病害的经验。

(4)红黏土地质调绘除应符合以上要求外,还应查明地裂形态特征、分布范围、形成原因和发育规律,以及与季节降雨、岩溶的关系等。

三、勘探与测试

1. 膨胀土(岩)和红黏土勘探方法

膨胀土(岩)和红黏土勘探,应采用物探、钻探、挖探、原位测试和室内试验相结合的综合勘察方法。

2. 膨胀土(岩)地区勘探要求

(1)勘探点、线的布置,应根据膨胀土(岩)的成因类型、分布特征、地貌单元,并结合建筑物的类型和勘察阶段而定,一般地段宜沿线路带状布孔,重要工程的勘探点、线应加密。

(2)勘探深度应根据膨胀土(岩)厚度及建筑物类型而定,当土(岩)厚度不大时,宜穿过膨胀土(岩)至下伏地层;若土(岩)层厚度较大,勘探深度应满足:

- ①钻至路基面设计高程(或建筑物基础底面)以下不应小于3m;
- ②应大于大气影响深度,一般性勘探孔深度不应小于5m,控制性孔深度不应小于8m。
- (3)膨胀土(岩)地段宜采用干钻或泥浆钻进。

(4)膨胀土(岩)地段取原状样必须干钻或采用挖探。原状样应从地面以下1m开始分层采取,每1~2m取1组;遇有灰绿、灰白色土层,应增加取样数量。膨胀岩地段应按岩性和风化带分别取代表性样品。

3. 膨胀土(岩)测试要求

(1)测试岩土常规物理、力学性质指标。

(2)膨胀土应测定自由膨胀率、蒙脱石含量和阳离子交换量。必要时,做矿物成分和化学成分、pH值、先期固结压力及残余强度等的测试和分析。

(3)膨胀岩应测试膨胀率、膨胀力、饱和吸水率,并宜做风干样或烘干样的崩解试验。

(4) 膨胀土的地基承载力测试宜采用静力触探、旁压试验;膨胀岩的地基承载力可采用点荷载试验、旁压试验。

(5) 重要和特殊的工程场地,宜进行现场浸水载荷试验、大面积剪切试验、旁压试验以及三轴试验、固结试验等。

4. 红黏土地区勘探、测试要求

(1) 红黏土为膨胀土时,其勘探应符合“2. 膨胀土(岩)地区勘探要求”中的第(1)、(2)条规定。

(2) 红黏土为非膨胀土时,应根据红黏土结构特征,软弱夹层的层位、厚度、空间分布规律,地裂与岩溶的关系等特征,结合勘察阶段、建筑物类型布置勘探点。

(3) 红黏土的钻探宜采用干钻,对地裂的勘探应采用挖探。

(4) 红黏土原状土样的采取,应符合“2. 膨胀土(岩)地区勘探要求”中的第(4)条规定。

(5) 红黏土测试应符合下列要求:

① 测试土的一般物理、力学性质指标;

② 测定自由膨胀率、水平和垂直收缩率、蒙脱石含量、阳离子交换量并进行粒度分析,必要时做矿物成分和化学成分分析;

③ 裂隙发育的红黏土,必要时应进行三轴剪切、无侧限抗压强度、灵敏度测试及重复慢剪试验。

第五节 膨胀性围岩隧道设计、施工原则

一、设计原则

目前膨胀岩隧道无设计规范,对于中、强膨胀性围岩,在设计中一般考虑了结构加强措施,目前还未发现运营后结构开裂情况。而对于弱膨胀、化学腐蚀膨胀等目前研究不够,对隧道施工引起地下水环境的改变认识不足,在设计中一般没有采取结构加强措施,致使运营后结构边墙开裂,底板上鼓、开裂。特别是有些达不到弱膨胀围岩的微膨胀围岩,在隧道内也出现了无渣轨道上拱现象,更值得对其深入研究。从目前产生的开裂情况看,单线隧道边墙受力条件差,易开裂;双线隧道底部为结构受力薄弱环节,易产生上鼓和开裂。设计原则建议如下:

(1) 高度重视膨胀性围岩对隧道结构的影响,充分研究和评价地质条件。

(2) 结合地质条件进行隧道选线风险评估。

(3) 按膨胀力进行结构计算分析,进行结构加强设计。

(4) 单线隧道,当膨胀力较大时,宜增大边墙曲率,改善受力条件。二次衬砌(二衬)应设为钢筋混凝土。

(5) 双线隧道,增大仰拱曲率,加强仰拱结构,防止底鼓。IV、V级围岩,仰拱应设钢拱架初期支护封闭,二次衬砌应设为钢筋混凝土。

(6) 加强引排水和防水设计,避免围岩积聚地下水。

(7) 当膨胀力较大时,应加强初期支护(初支)设计,特别是锚杆,可采用长锚杆、预应力锚杆等。二次衬砌应在初期支护变形基本稳定后施作。

(8) 隧道运营前出现底鼓病害时,可采取更换和加强仰拱的措施,运营后出现底鼓病害时

可采用长锚杆、钢管桩等加强,同时做好地下水排放和处理。

二、施工原则

在膨胀性围岩中施工时往往因为地层稳定性较好、无水、施工期间没有产生较大的变形而忽视围岩膨胀性对隧道后期的影响,而在隧道贯通后,改变了地下水的运移环境,隧道就成为一条地下水排泄通道。在施工期间失水干燥的围岩遇水发生膨胀,随着季节的变化还存在往复,即膨胀变形具有反复性。施工原则建议如下:

- (1) 高度重视施工地质工作,对揭示的围岩进行膨胀性试验和判识。
- (2) 高度重视水文地质工作,评价地下水运营期间的变异情况,判识对膨胀性围岩的影响,及时提出工程措施建议。
- (3) 加强变形观测,及时反馈,优化工程措施,及时修改设计。
- (4) 确保施工质量施作到位。

第六节 膨胀岩隧道设计施工现状与实例分析

一、基本情况

依据各设计单位提供的近年来膨胀岩隧道统计(表 1-6-1),勘察设计中明确为膨胀岩的隧道,运营的有 80 座,在建的有 95 座,正在开展设计的有 3 座。设计中都进行了加强设计,如加强初期支护,二次衬砌设为钢筋混凝土等。从已建成的隧道看,除下述案例外基本未出现衬砌开裂和底鼓现象。

近年来膨胀岩隧道统计

表 1-6-1

序号	线路名称	膨胀岩隧道数量(座)	膨胀岩岩性	膨胀性	主要技术标准	二次衬砌	其他加强措施	病害情况	备注
1	赣龙铁路	1	粉砂岩	弱膨胀性	双线 200km/h	钢筋 混凝土	地表注浆封堵地下水并改善围岩,初期支护加强	无	在建
2	汉孝城际铁路	2	上层黏土	弱膨胀性	双线 200km/h	钢筋 混凝土	开挖预留变形量,明挖矩形、拱形框架结构	无	在建
3	汉宜铁路	1	灰白色黏土、粉质黏土	表层弱~中膨胀性,以下为中~强膨胀性	双线 200km/h	钢筋 混凝土	第一级永久边坡开挖线以外横向宽度 3m 范围内,采用地表深孔注浆止水,基底采用 $\phi 42$ 小导管注浆加固	无	运营
4	商合杭铁路	1	粉质黏土	中膨胀性	双线 200km/h	钢筋 混凝土	初期支护加强	无	设计