

岩质断层地基及其治理措施分析

李建军^{1,2}, 邵生俊^{1,3}, 王超¹

(1.西安理工大学 岩土工程研究所, 西安 710048; 2.中交第一勘察设计院有限公司, 西安 710043;
3.陕西省黄土力学与工程重点实验室, 西安 710048)

摘要: 我国西部水电等基础设施建设当中面临大量的岩质地基工程, 该地区复杂的地壳构造运动和岩体变形使得岩质地基工程中常常分布有断层构造, 形成了断层地基。断层地基上修建建筑物或构筑物时需根据断层的成因、产状、岩性等特征及建造对象的使用功能、结构形式、作用荷载等分别采取处理措施进行加固治理。处理的原则是明开挖、少扰动、强度高、接触好、防渗强、畅排水。处理措施一般包括填塞、架拱、衬洞、沉井、支撑(柱、框架、桩)、设墙、锚固等。

关键词: 断层; 地基; 处理原则; 处理措施

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

Fault foundation and its reinforcing measures

LI Jian-jun^{1,2}, SHAO Sheng-jun^{1,3}, WANG Chao¹

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. China Communications First Investigation and Design Institute Co. Ltd., Xi'an 710043, China; 3. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Loess Mechanics and Engineering, Xi'an 710048, China)

Abstract: The faults produced by the deformation and motion of Earth's crust are distributed on the geotechnical foundation engineering. The fault foundation includes the upper rock mass, lower rock mass and the structure surface. It is necessary that the properties of rock mass, structural surface, deposit history, and structure function are considered in design of building. The principles of design and construction are excavation from ground, non-disturbing, increasing strength, anti-seepage and draining freely. The fault is reinforced by some effective measures including filling, arching, lining, settling well, supporting with column and pile, anchor and so on.

Key words: fault; foundation; dealing principle; reinforcing measure

1 引言

各类地基工程中常会遇到节理发育的岩层、软弱夹层、断层破碎带或断层交汇带, 这些地质缺陷对建筑物或构筑物往往构成安全危害, 准确、合理地分析、认识它们并采取有效的加固处理, 对于保证工程施工过程及工程建成后安全运行有重要的实际意义。水利工程中的大坝、输水隧洞、泄水建筑、铁路与公路隧道、道路路基等均会遇到断层。断层破碎带及软弱夹层的处理是这些建筑物地基处理的重要内容之一。详细地了解地质条件及断层资料, 是合理确定处理方案的前提。地质资料的主要内容有断层破碎带的规模、产状及其与土工建筑物在平面和空间位置上的相互关系, 构造岩的物理性质、

力学性质和水力性质、断层破碎带的渗透特性等。依据断层类型、岩层结构、构造运动特征和岩体力学性质的特点及其对地基的影响, 结合建筑物等级、规模和形式进行分析研究, 确定处理方案和工程技术处理措施^[1, 10]。

2 断层的类型及基本特征

断层的类型包括正断层、逆断层、平移断层及正(逆)平移断层。正断层的上盘顺重力作用方向下降, 倾角在 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 以上, 属张性断层, 结构面粗糙不平, 常具有次生物质充填, 冲填物松散, 胶结性差。逆断层的上盘在挤压作用下逆重力方向上升, 断层两侧附近岩体被剪碎, 水平向的应力大。当倾角大于 45° 时, 为冲断层; 当倾角小于 45° 时, 属压

性断层, 结构面多呈波状起伏, 并具有相当规模。平移断层的两侧岩体仅作相对的水平位移, 倾角陡直, 属扭(剪)性断层, 破裂面光滑、平整, 多呈闭合状。正(逆)平移断层兼有复合断层的特性, 依次序、规模有主次或不同组合之分, 属张性(压性)兼扭性断层。

构造运动除形成断层之外, 随岩层岩性不同还会形成不同的构造岩。构造岩主要包括断层泥、糜棱岩、角砾岩、压碎岩、劈理带破碎岩、褶皱扭曲带破碎岩等。断层泥一般是在构造作用下由黏土岩形成, 由微细颗粒组成, 遇水泥化, 隔水性能强, 厚度变化大, 有数厘米到数十厘米, 有的可达 1~2 m, 紧靠断层主滑移面, 在巨大破碎带中有许多断层面组合, 每个断层面上均有泥质物, 有的呈层状分布, 岩体结构面抗剪强度参数 c 、 φ 值很低, 常是岩体不稳定的控制因素。糜棱岩在结晶岩的断层中居多数, 岩块研磨作用后, 失去结晶岩石原有的外貌, 大都由研磨的碎屑粉以及各微小的岩粒胶结而成, 一般胶结较牢。抗压强度由数兆帕到十余兆帕。角砾岩被挤压碎, 并有一定转动。其中未胶结的角砾岩多发生于软硬相间的岩体之中, 多为有棱角的岩块及半浑圆形岩块, 大小几何形态不一, 岩块一般均较坚硬。角砾岩可分为有胶结和未胶结两类, 有胶结的角砾岩工程特性一般较好, 其中软弱泥化夹层的工程地质性能较差; 未胶结的角砾岩性质很差, 若有地下水存在问题更严重。压碎岩多发生在坚硬岩层中, 被切割成带棱角的岩块, 不规则的网状裂隙常充填松散的碎屑和粉粒; 或充填在各种岩脉中, 如方解石脉、石英脉、绿帘石脉等。一般彼此镶嵌咬合甚牢, 工程地质特性较好。如存在软弱泥化结构面仍有塌方可能, 需具体分析。劈理带破碎岩多发生于硬脆的岩体中, 呈高密度的裂隙带, 基本上属于原地破裂, 裂隙面无明显擦痕及光滑镜面, 如压劈理或破劈理, 较压碎岩要完整些, 但有明显的方向性。当开挖面与其平行, 易滑塌, 受垂直力时易压缩变形, 沿劈理带易渗水。褶皱扭曲带破碎岩多发生在软弱柔韧的薄层岩层中, 与构造破碎带紧密相连, 可为断层拖拉影响, 也可为与其他构造岩同时卷入的破碎带, 往往伴生一系列小断层。岩石扭曲破碎并有泥质条带。具有连续变形的特点, 本身阻水, 接壤部常有渗水^[2]。

3 断层处理的基本原则

断层破碎带的处理原则包括: ①断层破碎带处理应尽量采用明挖、回填混凝土的方式。对基础深

部缓倾角或位于基础端部位的断层, 可采用洞挖混凝土置换、水泥灌浆、化学灌浆、预应力锚固等方法。②防止由于断层破碎带的处理而引起岩体的应力释放、变形或爆破扰动、松动滑移等问题, 并采取相应的有效措施。③断层破碎带开挖要遵循自上而下的施工原则, 并作好安全支护, 必要时应分段、分层开挖、回填。④在组织实施断层破碎带处理的全过程中, 及时研究处理施工中出现的問題。⑤断层处理往往是建筑物地基开挖清理的延续和混凝土浇筑的前道工序, 其施工布置和主要机械设备、辅助设施等, 一般可在这两个工序的基础上进行调整、充实和配套。为便于在断层带的狭窄槽坑内施工, 宜采用轻便、灵巧、效率高的通用机具和设备。

断层经过处理后, 应满足下列要求: ①具有足够的强度, 能直接或通过岩体承受和传递上部结构的荷载; ②与围岩接触良好, 具有相似的弹性模量, 减少地基不均匀沉陷或限制地基变形; ③提高岩基的整体性, 确保建筑物或岩体在施工、运行期间的抗滑稳定性; ④具备良好的抗渗性, 防止集中渗漏, 降低渗透压力, 防止产生渗透变形; ⑤具备排水条件, 降低扬压力。

在水工建筑大坝中往往受挡水建筑传递的水压荷载和渗压荷载作用, 断层位于基础下不同部位和方位时, 对基础可能产生不同的影响。当断层贯穿河床坝基, 走向与河流平行或接近平行, 且倾角较大时, 断层处易出现集中渗漏, 且引起坝基不均匀变形。当贯穿岸坡坝基, 且倾角更大时, 重力坝基下易产生集中渗漏, 墩基岩体裂隙侧向张拉变形或削弱下游坡脚; 拱坝坝基下易产生集中渗漏, 侧向压缩变形, 下游边坡岩体应力集中; 断层倾向河床时, 防渗帷幕易遭破裂, 构成局部滑动或边坡不稳定或拱座局部不稳定。当断层走向与河流垂直或接近垂直, 且位于坝前沿(坝踵)时, 防渗帷幕易被拉裂, 坝基不均匀变形; 位于坝基下且倾角较大时, 坝基不均匀变形, 能够阻隔渗流, 但渗压大, 或拱座变形不均匀或岩体应力集中; 断层倾角较大, 且有反倾构造面时, 易向断层压缩位移; 有倾向下游构造面时易产生滑动面。断层位于坝后, 且倾向上游, 延伸入基础应力扩散范围内时, 压缩位移, 拱座变形过量, 降低整体安全度; 倾向下游, 被大构造或冲刷坑深切时, 易形成深层滑动临空面, 拱座岩体单薄或不稳定^[1, 3-5]。

4 断层处理的工程措施

断层处理必须结合具体工程的实际情况, 综合

考虑下列因素：①断层所处部位、产状、宽度，破碎带组成物和周围岩体的性质、力学指标，断层和其他弱面（构造面、临空面等）的不利组合对岩体和水文地质等构成的影响，以及与此有关的不同破坏机制、方式；②建筑物的工作条件、布局和对地基提出的要求，以及调整上部结构使之与地基工作条件相协调的可能性；③现场施工条件，施工技术水平、设备，可能达到的工程实际效果和已有的工程经验等。针对断层情况，本文介绍了 20 种工程处理措施，现分述如下：

(1) 主要承受垂直荷载时，若断层宽度为 0.6~2.0 m，倾角陡，则用混凝土塞（图 1）进行处理；若断层宽度大于 4 m，倾角陡，两侧岩面坚硬且较完整，则用混凝土拱（图 2）进行处理；若断层宽度大于 4 m，位于高坝坝趾或防渗帷幕轴线段，则用混凝土深塞（梁）（图 3）进行处理；若狭谷河床，

深槽或者有特殊要求，且有充分回填灌浆条件，则用混凝土洞挖浅塞（图 4）；若断层宽度 2~4 m，或缓倾角时，则用混凝土梁（图 5）；若深挖基坑的坝趾（踵）外岩体坚硬可靠，断层狭小，荷载不大的支墩基础，则用混凝土支撑体或垫座（图 6）^[6-7]。

(2) 主要承受水平荷载时，若断层窄且陡，则用混凝土塞（图 1）；若陡坡段断层窄，倾角陡，荷载大，则用混凝土深塞（图 3）；若陡坡段断层宽或者倾角缓荷载大，则用混凝土深梁（图 3）；若荷载大，坝头有断层组，影响带宽，裂隙发育，或断层间岩石较坚硬，施工开挖困难，工作量大，则用混凝土传力洞（图 7）；若坝头地形狭窄，岩体较硬，荷载大或坝头有断层组，则用混凝土传力槽（图 8）；若坝肩有不利地质构造组，断层产状陡、狭、平整，岩性坚硬尚完整，则用混凝土剪力洞（图 9）^[8-9]。

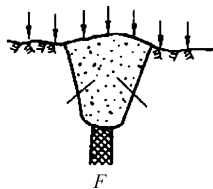


图 1 混凝土塞
Fig.1 Concrete plug

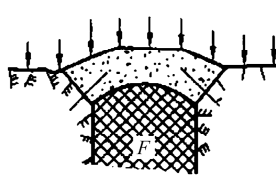


图 2 混凝土拱
Fig.2 Concrete arch

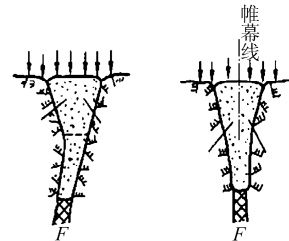


图 3 混凝土深塞（梁）
Fig.3 Concrete deep plug (bar)

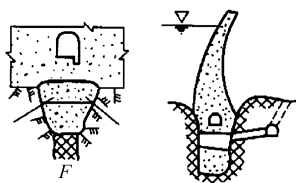


图 4 混凝土洞挖浅塞
Fig.4 Concrete tunnel shallow excavating plug

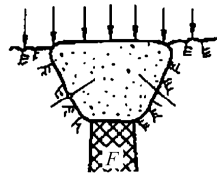


图 5 混凝土梁
Fig.5 Concrete bar

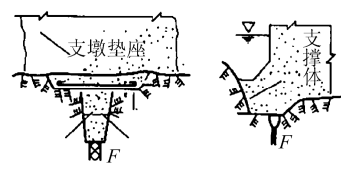


图 6 混凝土支撑体或垫座
Fig.6 Concrete strut or pulvino

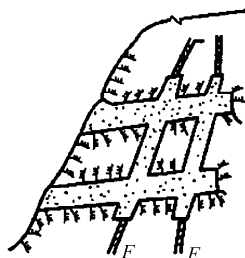


图 7 混凝土传力洞
Fig.7 Concrete transmitting force hole

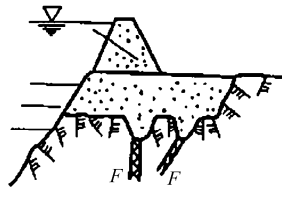


图 8 混凝土传力槽
Fig.8 Concrete transmitting force geosyncline

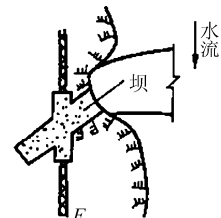


图 9 混凝土剪力洞
Fig.9 Concrete shear hole

(3) 用于控制地基压缩或沉降变形时，若断层横（斜）切高坝的坝趾或拱座下游侧，倾向上游倾角较缓或者倾角陡，但有平缓反倾角构造组合，则

用混凝土深塞（梁）（图 10）；若切割坝肩、坝趾的断层，延伸到坝底（拱座）应力工作范围内，倾角平缓，贯穿河床坝基，岩体不完整，但地基应力仍

不小, 则用洞挖整体式混凝土墙体 (图 11); 若切割坝肩、坝趾的断层, 延伸到坝底 (拱座) 应力工作范围内, 倾角平缓, 贯穿河床坝基, 岩体不完整, 但围岩较完整、坚硬, 则用洞挖框架式 (竖井加平洞) 混凝土体 (图 12); 若断层平缓, 倾向岸坡, 围岩较完整坚硬, 则用防沉井 (图 13); 若河床段断层窄、陡、较平整, 则用大口径直孔混凝土管柱群 (图 14); 若坝基内断层窄小, 较平整, 围岩完整坚硬, 则用钻孔混凝土连锁桩 (图 15); 若灌浆后构造岩变形模量提高, 能满足工程需要, 或与其他措施配合使用, 则用高压水泥灌浆或化学灌浆^[3, 8, 11]。

(4) 保持断层地基上基础和岩体稳定时, 若倾

角较陡, 有反倾角平缓构造组合, 承受建筑物压力和剪力大, 或岩体较破碎, 则用洞挖整体式抗滑混凝土墙 (图 16); 若倾角平缓, 较平整, 岩体坚硬, 受水平剪力, 则用抗滑键或框架式抗滑键群 (图 17); 若纵贯岸坡或坝肩, 倾角陡, 改善边坡稳定, 则用抗滑斜井或框架式井群 (图 18); 若纵贯坝肩陡直断层或断层交汇带, 围岩坚硬完整, 要求在抗剪基础上改善应力状态, 则用剪力洞 (图 19); 若断层倾角较陡, 围岩完整, 不宜作开挖、置换处理, 则用预应力锚束; 若断层倾角较陡, 围岩完整, 则用预应力锚固洞 (图 20); 若断裂不发育, 不需开挖处理, 防止断裂发展, 则用喷锚结合; 若断层倾角较缓, 围岩较完整, 则用抗滑桩^[1, 5, 12]。

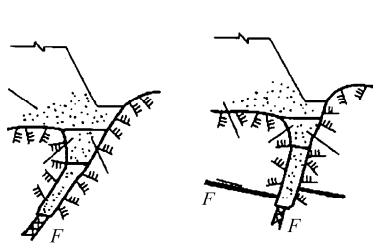


图 10 混凝土深塞 (梁)
Fig.10 Concrete deep plug (bar)

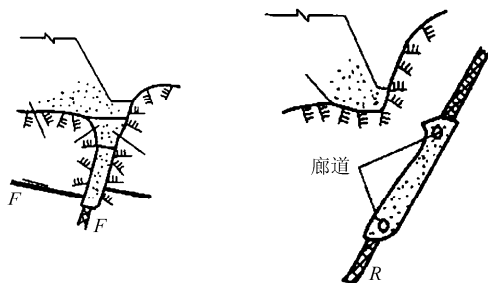


图 11 洞挖整体式混凝土墙体
Fig.11 Bore integral concrete wall
(shaft and adit) concrete



图 12 洞挖框架式 (竖井加平洞) 混凝土体
Fig.12 Bore frame-type

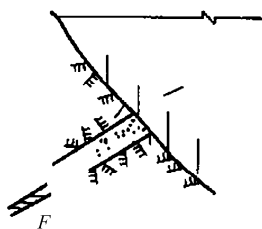


图 13 防沉井
Fig.13 Anti-sediment well

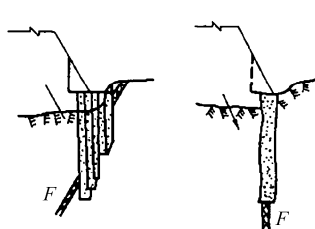


图 14 大口径直孔混凝土管柱群
Fig.14 Large diameter straight hole
concrete string group

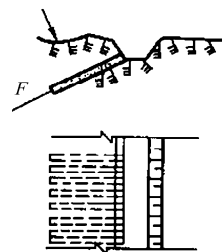


图 15 钻孔混凝土连锁桩
Fig.15 Bored concrete linkage pile

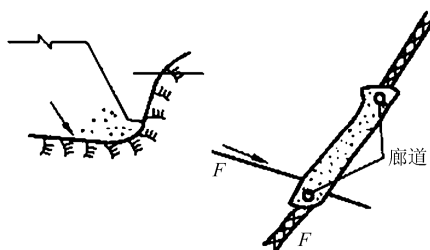


图 16 洞挖整体式抗滑混凝土墙
Fig.16 Bore integral anti-slide concrete wall

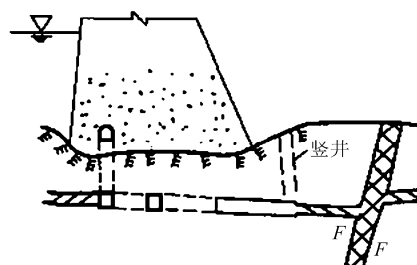


图 17 抗滑键或框架式抗滑键群
Fig.17 Anti-slide bonds or frame-type anti-slide bonds group

5 工程实例

陈村水电站重力拱坝坝基岩石为志留系滨海沉积的石英细砂岩、泥质砂岩和砂质页岩互层组成。

岩层倾向下游偏左岸, 倾角 40° 。主要断层有 F_{11} 、 F_{31} 、 F_{32} 等。其中, F_{11} 断层横切在左河床坝基中部, 倾向上游。坝基岩体因层间错动和陡裂隙切割, 向断层滑移 (断层被压缩) 引起不均匀变形和坝体应

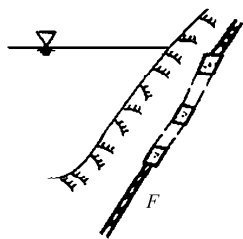


图 18 抗滑斜井或框架式井群
Fig.18 Anti-slide inclined shaft
or frame-type well group

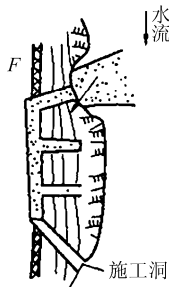


图 19 剪力洞
Fig.19 Shear hole

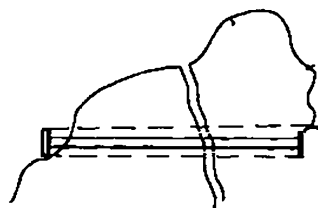
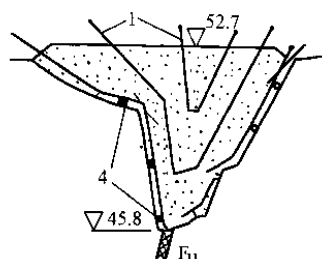
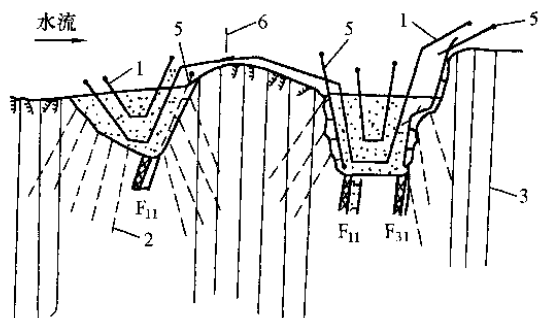


图 20 预应力锚固洞
Fig.20 Prestressed anchorage hole



(a) 7 坝段



(b) 15 坝段

1—冷却水管, 2—浅孔固结孔, 3—深孔固结孔, 4—重复灌浆盒, 5—接触灌浆孔, 6—纵缝

图 21 陈村坝基河川段断层处理
Fig.21 Dealing measures of Chen-cun dam foundation

力集中。

如图 21 所示, 河床段断层采用固端混凝土梁处理。其中, 岸坡 7 坝段混凝土深塞处理, 按最不利的夹泥层间错动面控制, 顺断层明挖达 13.5 m; 15 坝段混凝土深塞处理 7.0 m。

经 95.6 % 设计水头的运行, F_{11} 断层处的倒垂线观测, 位移变化较小, 受水位变化影响不明显; 7 坝段原来抗滑安全系数为 0.67。处理后由于可靠地支撑了坝基岩体和安全传递荷载, 对深层抗滑稳定有明显改善。

6 结 论

(1) 各类大型工程, 尤其是输水隧洞、泄水建筑、铁路与公路隧道、道路路基等线性工程, 均会

遇到断层、破碎带及软弱夹层等, 针对各种断裂形成原因和发展变化规律不同, 采取相应的处理措施是保证这些建筑物稳定和正常运营的关键。

(2) 断层处理应尽量采用明挖、回填混凝土的方式, 防止引起岩体的应力释放、变形或爆破扰动、松动滑移等问题。加固体应具有足够的强度, 能通过岩体承受和传递上部结构的荷载; 与围岩接触良好, 减少地基不均匀沉降或限制地基变形; 提高岩基的整体性, 确保建筑物或岩体在施工、运行期间的抗滑稳定性; 具备良好的抗渗性, 防止集中渗漏, 降低渗透压力, 防止产生渗透变形; 具备排水条件, 降低扬压力。

(3) 当主要承受垂直荷载时, 如断层倾角不陡, 则根据断层宽度变化分别采用混凝土塞、混凝土拱、混凝土深塞(梁)、混凝土洞挖浅塞等处理措施; 当主要承受水平荷载时, 依据断层宽度、倾角陡、荷载大小、岩体性质的变化分别采用混凝土传力洞、混凝土传力槽、混凝土剪力洞等。当控制断层地基压缩或沉降变形时, 则用混凝土深塞(梁)、洞挖整体式混凝土墙体、洞挖框架式(竖井加平洞)混凝土体、防沉井、大口径直孔混凝土管柱群、钻孔混凝土连锁桩、高压水泥灌浆或化学灌浆等; 当保持断层地基上基础和岩体稳定时, 宜采用洞挖整体式抗滑混凝土墙、抗滑键或框架式抗滑键群、抗滑斜井或框架式井群、剪力洞、预应力锚固洞等。

参 考 文 献

- [1] 《水利水电工程施工手册》编委会编. 水利水电工程施工手册. 地基与基础工程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2] 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [3] 孙钊. 大坝基岩灌浆[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

-
- [4] 龚晓南. 地基处理技术发展展望[M]. 北京：中国水利水电出版社, 2004.
- [5] 日本建设机械化协会. 地下施工手册[M]. 祝国荣, 夏明耀, 高秀理译. 北京：中国建筑工业出版社, 1993.
- [6] 高钟璞. 大坝基础防渗墙[M]. 北京：中国电力出版社, 2000.
- [7] 杨光煦. 水下灌注混凝土[M]. 北京：水利电力出版社, 1983.
- [8] 陶景良. 混凝土防渗墙的浇筑[M]. 北京：水利电力出版社, 1978.
- [9] 张启岳. 土石坝加固技术[M]. 北京：中国水利水电出版社, 1999.
- [10] 陆震铨, 祝全荣编译. 地下连续墙理论与实践[M]. 北京：中国铁道出版社, 1987.
- [11] 刘杰. 土的渗透稳定与渗流控制[M]. 北京：水利电力出版社, 1986.
- [12] 熊进, 陈琪新. 长江重要堤防隐蔽实施过程中若干问题的应对措施研究[C]//堤防及病险水库垂直防渗技术论文集. 天津：天津科学技术出版社, 2000.