

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2014.06.023

某堆石坝帷幕缺陷处理后渗流稳定敏感性研究

曾海艳¹, 张建海¹, 王震洲¹, 詹国强²

(1. 四川大学 水力学及山区河流开发与保护国家重点实验室, 四川 成都 610065;

2. 四川省清源工程咨询有限公司, 四川 成都 610072)

摘 要: 防渗帷幕是大坝防渗措施的重要组成部分, 然而防渗帷幕在灌浆过程中往往出现缺陷, 影响大坝的防渗效果。因此对缺陷区进行灌浆处理显得十分重要, 然而对缺陷区灌浆处理后其效果的研究十分少见, 针对某堆石坝在工程施工检测中防渗墙与帷幕之间存在高强渗透区现象, 对该部分覆盖层进行帷幕灌浆处理。为定量评价该覆盖层帷幕灌浆区对大坝渗透场的影响, 采用有限元方法进行了覆盖层帷幕灌浆区厚度以及渗透系数的敏感性分析。研究表明: 随着覆盖层帷幕灌浆区厚度的增大, 其渗透流量逐步减小, 当覆盖层帷幕灌浆区厚度达 8m 时灌浆区比降小于允许比降, 满足帷幕渗透灌浆区比降要求; 相同覆盖层帷幕灌浆区厚度条件下, 渗透系数增大, 其承受的比降有所下降, 但会使透过覆盖层帷幕灌浆区的流量略有增大, 降低比降有利于坝体渗透场稳定, 流量略增大不影响坝体稳定。

关键词: 堆石坝; 渗流; 缺陷; 帷幕灌浆; 有限元法; 敏感性分析

中图分类号: TV641.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2014)06-0118-05

The Seepage Sensitivity Analysis of A Rockfill Dam After Grouting Treatment on Curtain Defect

ZENG Hai-yan¹, ZHANG Jian-hai¹, WANG Zhen-zhou¹, ZHAN Guo-qiang²

(1. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu,

Sichuan 610065, China; 2. Sichuan Qingyuan Engineering Consulting Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610072, China)

Abstract: Adopting anti-seepage curtain is an important dam anti-seepage measure, however, defects often occur during the process of grouting, which has a bad effect on dam seepage control. So the grouting treatment seems very important for the defect area, whereas the research on the effectiveness of curtain defect grouting is very rare. It was found that in a rockfill dam, a high permeable area existed between the diaphragm wall and overburden curtain during the quality detection. Regarding to this problem, curtain grouting treatment was adopted. To evaluate the influence of the overburden curtain grouting compartment on dam seepage field, a 3D finite element method was used to analyse seepage flow change according to different thickness of the grouting compartment and different curtain seepage coefficients. Results showed that with the increase of grouting thickness, the seepage flow quantity was reduced gradually. The gradient ratio was less than allowable value when the thickness reached 8 m, which met the requirements for overburden curtain grouting area gradient ratio. Under the same thickness, the ratio was decreased with the increase of the seepage coefficients, while the flow rate through the overburden curtain grouting area was increased slightly. According to the analysis of this situation it is drawn that the decrease of gradient ratio is beneficial for the stability of the dam's seepage field, a slight increase on the flow do not influence the dam's stability.

Keywords: rock-fill dam; seepage; defect; curtain grouting; finite element method; sensitivity analysis

防渗帷幕是大坝工程建筑防渗处理的重要组成部分, 几乎所有的大坝基础都要进行不同程度的防

渗处理, 较常用的就是帷幕灌浆处理^[1-3]。然而工程中常常出现灌浆后局部贯通性帷幕缺陷, 影响大

坝安全。为保证大坝渗透稳定性,许多工程对防渗帷幕缺陷进行覆盖层帷幕再灌浆处理。坝基防渗系统缺陷再灌浆处理后,坝基渗流量及覆盖层帷幕灌浆区渗透比降是灌浆效果评价的主要部分,前者定量评估了防渗效果是否达到设计标准而后者用于评价坝基的渗透稳定性。李维朝,梁铎等^[4]人利用 SEEP/W 软件,分析了某工程帷幕渗透系数对浸润线高度、水力比降的影响,得到了帷幕缺陷区厚度与单宽渗漏量的对数曲线关系。张慧萍,赵迪等^[5]对金佛山沥青混凝土心墙坝进行渗流计算,发现坝体及坝基的渗流量对防渗帷幕渗透系数的影响比强风化基岩渗透系数的变化敏感很多。但是以上研究均未分析缺陷区灌浆处理后,该区域对整个坝基的渗流稳定的影响。

本文针对某堆石坝的右岸帷幕出现高透水片区的情况,在覆盖层中防渗墙与帷幕之间进行覆盖层帷幕灌浆处理,在缺陷区形成“覆盖层帷幕灌浆区”。由于防渗帷幕完全处于地下,覆盖层帷幕灌浆区的渗透稳定性及连续性难以通过实验方法进行评估^[6]。为实现定量评价覆盖层帷幕灌浆区对大坝渗流场的影响,采用三维数值分析方法分析不同设计工况下渗流稳定的敏感因素,评价了各影响因子对帷幕灌浆区整体和局部渗透稳定性,为坝基缺陷处理措施提供参考依据。

1 工程概况

某水电站为“一库两级”规划开发方案中的龙头水库电站,采用混合式开发方式,主要开发任务为发电,无通航、灌溉、防洪等综合利用要求。电站装机容量 135 MW,拦河大坝为混凝土面板堆石坝。水库正常蓄水位 3 165.00 m,相应库容 $8.485 \times 10^7 \text{ m}^3$,最大坝高 106.0 m。

坝址地处高山峡谷区,河床主要分布第四系松散堆积物,覆盖层最大厚度为 108.82 m。坝基覆盖层主要为砾石,最大厚度 86.32 m。防渗体系由混凝土面板、趾板、混凝土防渗墙以及防渗帷幕构成。防渗墙厚度 1.20 m,一般深度为 50.00 m,最大深度 73.00 m。两岸坝肩及河床底部透水基岩采用帷幕灌浆防渗,以死水位为界,死水位以上布置为单排帷幕,以下为双排帷幕,帷幕穿过表面卸荷岩体伸入到相对弱透水层以下 5.00 m。工程开挖及坝体施工过程中,右岸帷幕存在透水性较强的片区,另外,右岸防渗墙存在未达到设计标高的情况,因而在防渗墙与帷幕之间进行灌浆处理,形成覆盖层帷幕灌浆

区,具体断面如图 1 所示。

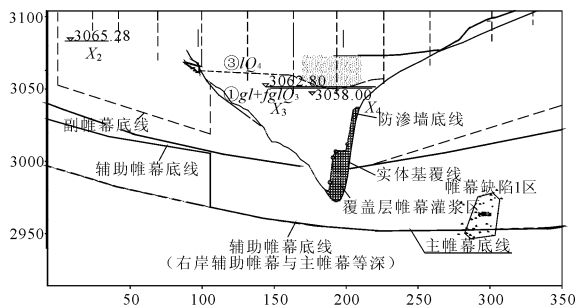


图1 某堆石坝防渗墙覆盖层帷幕灌浆区(单位:m)

2 渗流场有限元分析

2.1 计算软件及原理

针对该坝体防渗体系的渗流稳定分析,本文计算软件采用四川大学岩土所多年扩充完善的三维非线性有限元分析软件 NASGEWIN 计算。该程序具备较完善的可视化前、后处理界面和操作界面,先后成功地应用于二滩、锦屏一级、沙牌、紫坪铺、官地、溪洛渡、小湾、百色、瀑布沟、黄金坪、猴子岩等二十多个重大工程项目研究^[7],具有很强的分析功能。

将计算区水流系统概化为三维稳定地下水系统,渗透规律可用质量守恒及达西(Darcy)定律描述,稳定渗流分析可归结为能数值求解的有限元方程^[8-9]。渗流场求解时,对整个计算区域进行离散。宋建庆等^[10]采用子单元法,使得计算结果逼近真实渗流区域。胡冉,速宝玉等利用软件进行渗流自由面的迭代,求得每个单元节点的水头值后算得相邻节点间的渗流比降^[11-15]。

本模型计算中,对土体采用邓肯-张 E-B 模型。对于基岩,采用 Druker-Prager 屈服准则的弹塑性本构关系。混凝土防渗墙与周围土体之间、基岩与高塑性粘土之间为防渗墙与覆盖层的相对错动滑移部位,因此,计算中在混凝土防渗墙与灌浆区、灌浆区与帷幕之间设置无厚度 Goodman 接触面单元进行模拟。

2.2 计算模型

本模型沿面板坝轴线上下游各取 250.0 m,即顺河向 x 方向截取 500.0 m;横河向由桩号 0-261.0 m 取至桩号 0+892.0 m,横河向 z 方向总长度 1 153 m,共切取纵剖面 55 个;铅直向由高程 2 900.0 m 取至地表自由面。模型有限元网格划分时,充分考虑了材料分区、覆盖层帷幕灌浆区和右岸的高透水帷幕缺陷区。图 2、图 3 为面板堆石坝和帷幕灌浆区三维网格图,三维有限元模型网格采用 4 面体

8 节点单元共计剖分 35 585 个节点和 36 912 个单元。

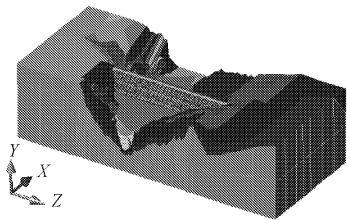


图 2 堆石坝三维网格图

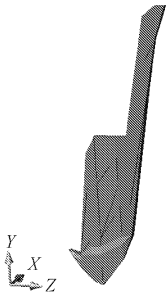


图 3 帷幕灌浆区三维网格图

2.3 计算边界与计算工况

在渗流稳定期,渗流边界问题分水头边界、出渗边界、不透水边界三类。本次计算为正常蓄水工况下,上游边界的出渗边界取到正常蓄水水头 $\phi = 3\ 165\text{ m}$,施加范围为上游坝面以及河谷浸水节点。下游出渗边界为水头 $\phi = 3\ 083\text{ m}$,施加范围为下游河谷浸水节点。

为研究帷幕灌浆区厚度和帷幕灌浆区渗透系数对三维渗流计算的影响,开展了 5 种工况的计算,各计算工况参数选取如表 1 所示。工况 S_1 、工况 S_2 、工况 S_3 帷幕灌浆区透水率均取为 3 Lu,而帷幕灌浆区厚度则分别取 4 m、6 m 和 8 m,从而定量分析帷幕厚度对渗流场的影响。工况 S_4 、工况 S_5 则保持帷幕灌浆区厚度为 8 m,帷幕灌浆区透水率分别取为 10 Lu、15 Lu,以此定量分析相同帷幕灌浆区厚度条件下不同渗透系数对三维渗流场的影响。

表 1 斜卡面板堆石坝计算工况参数

工况	帷幕灌浆区厚度/m	灌浆区透水率/Lu
工况 S_1	4	3
工况 S_2	6	3
工况 S_3	8	3
工况 S_4	8	10
工况 S_5	8	15

3 计算结果分析

3.1 帷幕灌浆区厚度对渗流场的影响

覆盖层帷幕灌浆区渗流比降作为研究大坝渗流场的重要指标,为研究帷幕灌浆区厚度对渗透场渗透比降的影响,以工况 S_1 、工况 S_2 及工况 S_3 进行对比计算,检验覆盖层帷幕灌浆区的比降随灌浆厚度的变化而变化的规律。

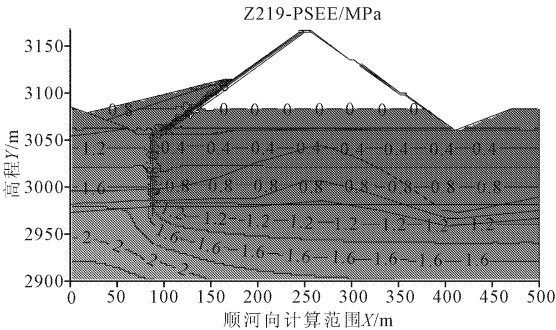


图 4 工况 S_1 剖面 0+219.0 m 渗压等值线图

图 4、图 5 为工况 S_1 典型剖面 0+219.0 m 渗压等值线图和水头等值线图,该工况下面板、防渗墙和帷幕部位水头变化剧烈,坝体处渗压呈水平直线分布,符合工程实际规律。工况 S_2 和 S_3 的渗压等值线图和水头等值线图与工况 S_1 类似,此处不再赘述。

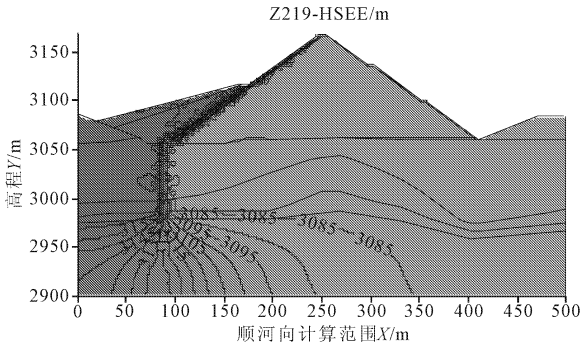


图 5 工况 S_1 剖面 0+219.0 m 水头等值线图

为对比研究三种工况下的流量变化,图 6 为各工况流量的变化规律图。计算得到工况 S_1 总渗流量为 $0.517\text{ m}^3/\text{s}$;工况 S_1 防渗墙覆盖层帷幕灌浆区增加 2 m 后总渗流量为 $0.512\text{ m}^3/\text{s}$,相比工况 S_1 减小 0.8%;工况 S_3 将防渗墙覆盖层帷幕灌浆区厚度再次增加后,其总渗流量为 $0.510\text{ m}^3/\text{s}$,相比工况 S_1 的 $0.517\text{ m}^3/\text{s}$ 减小 1.2%。相比于工况 S_2 的 $0.512\text{ m}^3/\text{s}$ 减小 0.4%。由此可知随着覆盖层帷幕灌浆区厚度的增大,坝体渗透总流量逐步减小。对于覆盖

层帷幕灌浆区,灌浆区厚度与其渗透流量也基本符合该规律。覆盖层帷幕灌浆区厚度取为 4 m 后,帷幕灌浆区渗透流量为 0.007 m³/s;加厚为 6 m 后,其渗透流量减小为 0.005 m³/s;加厚为 8 m 后,帷幕灌浆区渗透流量减小为 0.004 m³/s。

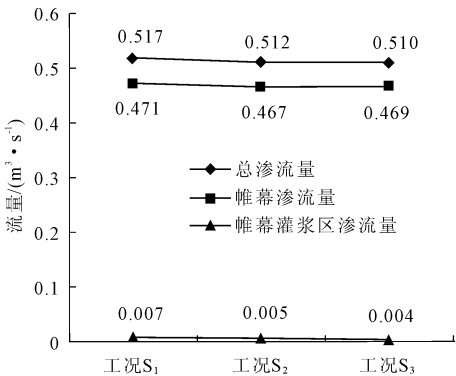


图 6 各工况流量变化规律

图 7 为覆盖层帷幕灌浆区不同厚度时,覆盖层帷幕灌浆区比降,其中 Y 轴为高程,Z 轴为横河向计算范围。可见,工况 S₁ 覆盖层帷幕灌浆区比降约在 13~19.2 之间;工况 S₂ 渗透比降降至 10.0~13.0 之间;工况 S₃ 其渗透比降降至 7.6~9.8 之间。所以增大覆盖层帷幕灌浆区厚度,可以有效降低比降。由于覆盖层帷幕灌浆区允许比降为 10.0,可知防渗墙覆盖层帷幕灌浆区厚度应达到 8 m 才能达到有效防渗效果。各工况灌浆区最大比降值集中在狭长的上半区域,可以考虑适当加大上部分的灌浆厚度。

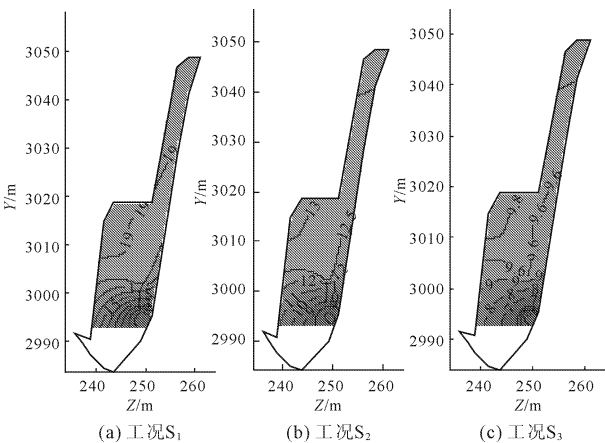


图 7 三种工况帷幕灌浆区比降等值线图

3.2 灌浆区渗透系数对渗流场的影响

为研究覆盖层帷幕灌浆区比降与渗透系数的关系,工况 S₁、工况 S₂、工况 S₃ 设计了 8.0 m 覆盖层帷幕灌浆区厚度,而在该部位分别取渗透系数为 3 Lu、10 Lu 和 15 Lu。通过数值计算开展渗透系数敏感性分析。图 8 给出了不同渗透系数条件下计算的帷幕

灌浆区渗流量变化规律。

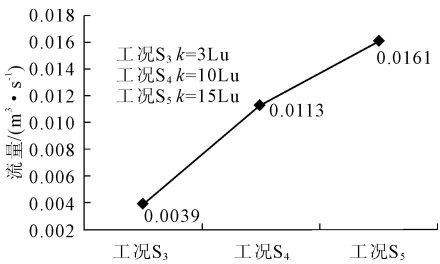


图 8 覆盖层帷幕灌浆区 8m 时流量变化规律

当覆盖层帷幕灌浆区厚度为 8 m 时,3 种工况覆盖层帷幕灌浆区渗流量分别为 0.0039 m³/s、0.0113 m³/s 和 0.0161 m³/s,而总渗流量分别为 0.510 m³/s、0.525 m³/s、0.534 m³/s。可见,相同帷幕灌浆厚度条件下,随着覆盖层帷幕灌浆区渗透系数增大,通过覆盖层帷幕灌浆区的渗流量略有增大,从而导致防渗系统总渗流量少量增加,因而并不危及大坝安全。

图 9 为工况 S₄、工况 S₅ 的覆盖层帷幕灌浆区比降等值线图。可见覆盖层帷幕灌浆区厚度为 8 m 时,工况 S₄ 覆盖层帷幕灌浆区比降约在 6.6~9.5 之间;工况 S₅ 覆盖层帷幕灌浆区比降约在 6.0~9.2 之间。而由图 7 可知工况 S₃ 覆盖层帷幕灌浆区比降约在 7.6~9.8 之间。所以在相同覆盖层帷幕灌浆区厚度条件下,随着覆盖层帷幕灌浆区渗透系数增大,其承受的比降有所下降,从而降低坝基渗透破坏率,有利于渗流场稳定。

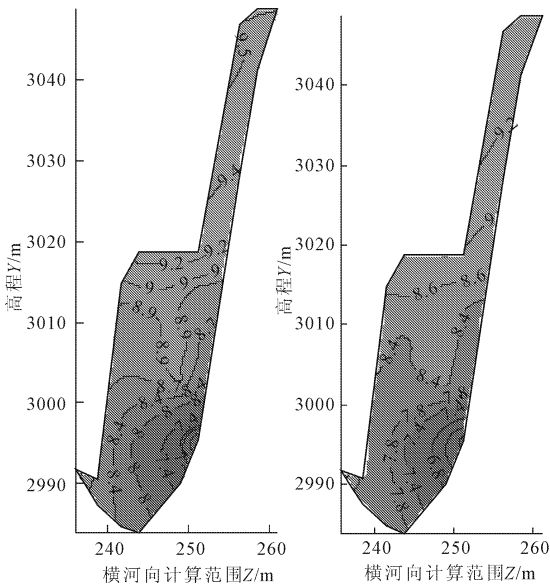


图 9 覆盖层帷幕灌浆区比降等值线图

4 结 论

通过对某堆石坝帷幕缺陷进行灌浆处理,并完

成对该帷幕灌浆区的三维渗流场分析,可知帷幕灌浆区的存在、灌浆区厚度及渗透系数的选取极大地影响了大坝的渗透稳定性。分析该有限元计算结果,得到以下结论:

(1) 随着覆盖层帷幕灌浆区厚度的增大,坝体渗透总流量逐步减小。对于覆盖层帷幕灌浆区,灌浆区厚度与其渗透流量也基本符合该规律。

(2) 在相同覆盖层帷幕灌浆区厚度条件下,随着覆盖层帷幕灌浆区渗透系数增大,其承受的比降有所下降,降低了坝基渗透破坏率,有利于渗流场稳定。

(3) 所研究堆石坝覆盖层帷幕灌浆区厚度达到 8 m,渗透系数达到 15 Lu 时,帷幕灌浆区各部位比降均小于允许比降 10,不存在渗透失稳问题;增大帷幕灌浆区的厚度达 8 m 以上以及适当增大灌浆区渗透系数,可以防止坝基渗漏量过大及渗透破坏,有效提高防渗效果,保证大坝渗流稳定。

参考文献:

- [1] 余宗翔,陈民超.龙滩水电站大坝渗控系统的设计与实施[J].红水河,2008,27(4):15-19.
- [2] 赵永刚.溪洛渡 300 m 级高拱坝坝基的渗流稳定工程措施[J].水电站设计,2009,24(4):1-5.
- [3] 宋汉周,王凤波,周 剑.某水电站大坝 6 坝段化灌加强帷幕防渗耐久性分析[J].水文地质工程地质,2005,32(5):69-72.
- [4] 李维朝,梁 铎,蔡 红,等.堤坝帷幕灌浆效果评价

[J].中国水利水电科学研究院学报,2012,10(3):214-218.

- [5] 张慧萍,赵 迪,梁 越.金佛山沥青混凝土心墙坝二维渗流计算分析[J].地下空间与工程学报,2014,10(2):449-454.
- [6] 许孝臣,盛金昌,何淑媛.防渗帷幕随机缺损的模拟及对坝基渗流的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2009,37(5):582-585.
- [7] 李 榕,姚 颖,胡助秀,等.斜卡水电站面板堆石坝三维渗流计算分析[J].红水河,2010,29(5):43-46.
- [8] 李少明.防渗墙质量缺陷对土石坝渗流控制的影响[J].南水北调与水利科技,2012,10(5):174-177.
- [9] 张 慧,赵 坚,盛 宏.面板砂砾石坝三维渗流敏感性分析[J].水电能源科学,2012,30(9):73-76.
- [10] 宋建庆.面板堆石坝极端工况下渗流稳定性及敏感性分析[J].水利与建筑工程学报,2011,9(2):77-79.
- [11] 齐 悦,卢文喜,李 平,等.蒲石河抽水蓄能电站上水库防渗方案优化研究[J].工程勘察,2007,(12):39-42.
- [12] 胡 冉,毛新莹,张 萍.基于变分不等式法的渗流有限元分析及程序设计[J].水电能源科学,2009,27(4):54-57.
- [13] 速宝玉,沈振中,赵 坚.用变分不等式理论求解渗流问题的截止负压法[J].水利学报,1996,35(3):22-29.
- [14] 陈世俊,张俊霞,李 莉.工程渗流有限元计算方法[J].人民黄河,2000,22(9):34-36.
- [15] 华 静,杨华舒.土石坝渗流计算中的有限元应用研究[J].中国水能及电气化,2012,(7):15-18.

(上接第 53 页)

- [11] 孙世阳,李 春,曹 鹏,等.番茄加工厂废水处理系统好氧活性污泥生物活性指标的评价[J].化工学报,2012,63(7):2210-2216.
- [12] Diya'uddeen B H, Daud W M A W, Aziz A R A. Treatment technologies for petroleum refinery effluents: A review [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2011, 89 (2):95-105.
- [13] Singh A, Singh B, Ward O. Potential applications of bioprocess technology in petroleum industry [J]. Biodegradation, 2012, 23(6):865-880.
- [14] Mello J M M, de Lima Brandão H, de Souza A A U, et al. Biodegradation of BTEX compounds in a biofilm reactor—Modeling and simulation [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2010, 70(1):131-139.
- [15] 赵 华,曹青青,刘 侃.炼油碱渣处理技术现状与展望[J].化工科技,2009,17(2):71-74.

- [16] Mazzeo D E C, Levy C E, De Angelis D F, et al. BTEX biodegradation by bacteria from effluents of petroleum refinery [J]. Science of the Total Environment, 2010, 408(20):4334-4340.
- [17] 水质标准汇编组,中国标准出版社第二编辑室.水质标准汇编(上册)[M].北京:中国标准出版社,2005.
- [18] 水质标准汇编组,中国标准出版社第二编辑室.水质标准汇编(下册)[M].北京:中国标准出版社,2005.
- [19] 国家环境保护局,水和废水检测分析方法编委会.水和废水检测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [20] 韩芹芹,杨跃辉,姜逢清.新疆番茄酱企业生产废水处理利用方式探析[J].干旱环境监测,2006,20(2):97-103.
- [21] 国家环境保护局.GB8978—1996.污水综合排放标准[S].北京:中国环境科学出版社,1996.