



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtq.2016.03.018

张雪, 周济人, 梁金栋, 等. 侧向进水泵站前池流态试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 101-105.
ZHANG Xue, ZHOU Ji ren, LIANG Jin dong, et al. Experimental research on flow pattern of forebay of side inlet pumping station[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 101-105. (in Chinese)

侧向进水泵站前池流态试验研究

张 雪, 周济人, 梁金栋, 张海翎

(扬州大学 水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 以 Froude 准则为基础, 适当提高模型流速, 在不同水位下进行了某侧向进水泵站的模型试验。结果表明: 原方案前池内无论是面层还是底层, 均出现大尺度回流区; 水流斜向进入进水池, 边侧水流偏斜尤为严重; 翼墙回流区内流速较低, 易造成泥沙淤积, 对泵站的安全、经济运行不利。通过对底坎、导流墙、“Y”型导流墩等多种整流措施进行试验, 发现采用由“Y”型导流墩演变而来的“丁”字型倒流措施能取得较好的整流效果。

关键词: 泵站; 回流; 泥沙淤积; 侧向进水; 前池; 流态; 整流;

中图分类号: TV 131 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)03-0101-05

Experimental research on flow pattern of forebay of side inlet pumping station

ZHANG Xue, ZHOU Ji ren, LIANG Jin dong, ZHANG Hai lin

(School of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Based on Froude rule, test on a side inlet pumping station model was conducted with increasing velocity of flow properly. The results showed that: the original scheme would cause a wide range of circulation in the surface layer and bottom layer of the forebay; the side flow deviated badly when the oblique flow get into the intake sum p; it would cause sediment deposition easily if the velocity of flow in wing walls circulation area was too low. It was bad for safe and economic operation of the pump station. Several measures were used to regulate the flow pattern, including bottom sills, diversion walls, "Y" type diversion pier and "T" type diversion pier which was a variant from the "Y" type. The flow pattern could be obtained best with "T" type diversion.

Key words: pumping station; circulation; sediment deposition; side inlet; forebay; flow pattern; regulate flow pattern

受到来流条件、当地实际地形以及其他客观因素的限制, 有的泵站有时会采用侧向进水的布置形式^[2]。但在弯道水流、水流惯性作用和水槽侧壁的阻碍下, 弯道凸侧易形成折冲水流, 产生主流脱壁、回流、漩涡等不良流态^[2], 使得前池水流紊乱, 造成泥沙淤积, 对泵站的安全、经济运行形成威胁, 因此有必要对侧向进水泵站前池的水力特性进行研究。

本文拟通过模型试验分析徐州某侧向进水泵站前池内的流态, 并探讨不同整流措施对进水流态的影响。

1 模型试验

1.1 研究对象

新建的徐州某泵站为在原泵站站址处拆除老站后扩建的新站, 选用了 4 台 900ZLB-70 的轴流泵,

收稿日期: 2015-12-18 修回日期: 2016-03-01 网络出版时间: 2015-12-14
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20151214.0827.002.html>
基金项目: 国家“十二五”农村领域科技支撑项目(2012BAD08B03-2)

Fund: National "Twelfth Five Year" in Rural Areas of Science And Technology Support Projects(2012BAD08B03-2)

作者简介: 张 雪(1992), 女, 江苏淮安人, 主要从事水利水电工程方面研究。E-mail: 1519719065@qq.com

通讯作者: 周济人(1965), 男, 江苏江阴人, 副教授, 主要从事跨流域调水及泵站工程研究。E-mail: zhoujir@yzu.edu.cn

进水池的设计水位▽34 m, 泵站的设计流量 10 m³/s。受地形条件限制, 该泵站采用侧向进水。

1.2 试验准则

选择模型比尺要兼顾精度和费用两方面, 虽然较大尺寸的模型可以使黏滞力与表面张力的比尺效应减少到最小, 得到的试验结果也更精确、可靠, 但产生的费用也会比较高。综合试验场地、经费及精度要求, 试验选用模型比尺 λ = 1:25

泵站前池的水流以重力为流动的主导力。故采用 Froude 试验准则, 即原型和模型的佛汝德数必须相等:

$$Fr_m = Fr_p \quad (1)$$

按 Froude 相等准则, 模型的水深比尺 λ_h、流速比尺 λ_v、流量比尺 λ_q 的关系如下:

水深比尺 λ_h = λ; 流速比尺 λ_v = λ^{0.5}; 流量比尺 λ_q = λ^{2.5}。

试验选用的模型实际流速 v_{ms} 为 Froude 模型流速的 1.5 倍, 即

$$v_{ms} = 1.5v_m = 1.5v_p \cdot \lambda_p = 1.5v_p \cdot \lambda^{0.5} \quad (2)$$

亦即实际流速比尺 λ_s 为

$$\lambda_s = 1.5\lambda^{0.5} = \lambda^{0.374} \quad (3)$$

由此推得流量比尺 λ_{qs} 为

$$\lambda_{qs} = \lambda_s \cdot \lambda^2 = \lambda^{2.374} \quad (4)$$

在模型几何相似的基础上, 其流动边界的粗糙度也一定要与原型相似^[8], 即糙率相似, 由曼宁公式推导求得糙率比尺 λ_n 为

$$\lambda_n = \lambda^{\frac{1}{5}} \quad (5)$$

模型中 Reynolds 数可表示为

$$Re = \frac{Q}{x \cdot v} \quad (6)$$

式中: Q 为流量(m³/s); x 为湿周(m); v 为运动黏滞系数(m²/s)

相应于原型设计水位▽34 m, 模型中水流的雷诺数 Re = 3 630, 远远大于临界值(Re)_c = 1 400, 即水流紊动程度已经满足要求。

1.3 模型设计与制作

模型范围包括引河、前池、进水池及各台水泵的出水管(图 1)。原型泵站进口护底及翼墙为浆砌块石, 糙率系数为 0.025, 进水流道与前池池底为钢筋混凝土, 其糙率系数为 0.011~0.020, 河底不护砌, 糙率系数为 0.0225, 因此, 根据上一节得到的糙率比尺计算得出模型材料的糙率为 0.0064~0.0146。这次模型材料使用的是塑料板与有机玻璃板, 其糙率系数分别为 0.007 和 0.011, 基本满足糙率相似

要求。

试验时, 模型装置由供水泵供水, 各泵流量分别由装各自管路中的 4 台电磁流量计测量, 由 4 台闸阀分别调节, 保证各泵流量相同。各水泵流量由供水水泵前端的阀门控制, 通过电磁流量计可读出各管路的流量, 并用超声波流量计对试验总流量及各分流量进行校核。测线主要布置于前池中, 流速采用 CYS 数字显示直读式流速仪测定。

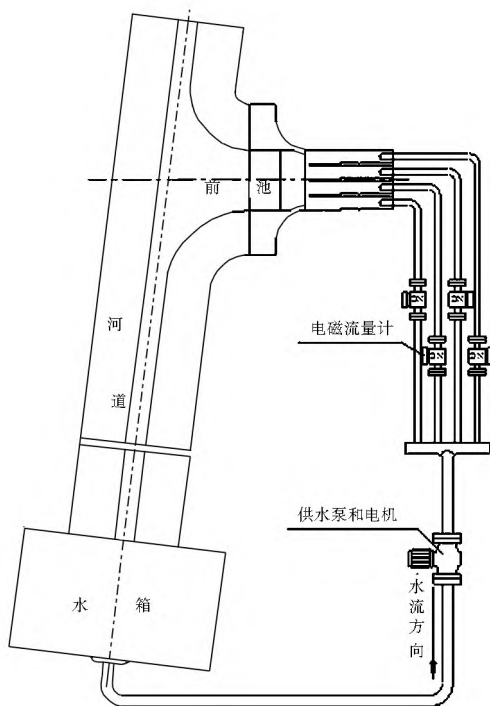


图 1 模型试验总体布置

Fig. 1 General arrangement of model test

1.4 试验方案

试验设计了底坎、导流墙、“Y”型导流墩等多种方案, 以及最低、最高、设计三种水位。本文仅给出了设计水位下的典型方案(表 1)。

表 1 设计水位模型试验方案

Tab. 1 Model test schemes of design water level

方案	方案说明	措施说明
1	原始方案	未加措施
2	“Y”型导流墩	“Y”型导流墩边长 10 cm, 墩顶高程等于最低水位。
3	“T”型导流墩	“T”型导流墩边长 10 cm, 墩顶高程等于最低水位, 各边角度有所改变。
4	导流墙	导流墙墙顶高程等于最低水位, 长 30 cm。
5	4 cm 窄底坎	底坎高 4 cm。
6	高宽底坎	高宽底坎底宽 6 cm, 顶宽 3 cm, 坎顶高程 6 cm。

2 流速分布均匀度

2.1 测速断面、测线、测点布置方法

示踪物使用高锰酸钾染色的砂质颗粒, 从而对前池底部的流态进行观察, 部分示踪物会在回流区

沉积,可以准确地显示出底部的回流中心和回流的范围。用漂浮的有机玻璃碎片对面层流态进行观察,通过固定相机的连续拍摄,取部分照片叠加合成,观察面层水流的回流和漩涡。

为定量比较整流措施对进水流态的影响,试验中采用CYS型数字显示直读式流速仪对泵站进水池前的3个断面的流速分布进行了测定。每一测速断面均布置4~5根测线,每个测线又取4~5个测点。(见图2、图3)

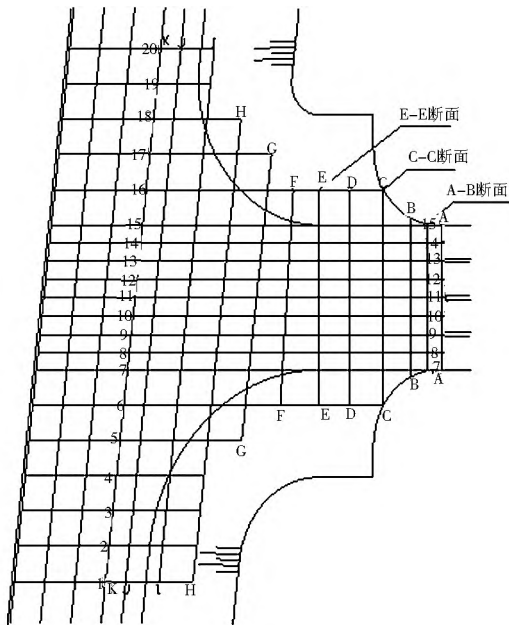


图2 模型网格划分及测速断面布置示意图

Fig. 2 Arrangement of model's mesh subdivision and velocity measurement section

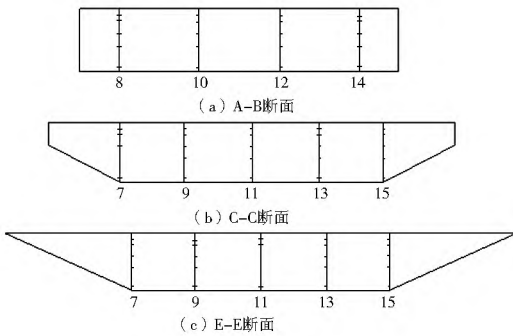


图3 断面测线、测点布置

Fig. 3 Arrangement of section's measuring lines and points

2.2 前池流速分布均匀度

流速分布均匀度 V_u 按式(7)计算,各方案的流速分布均匀度见表2。

$$V_u = \left[1 - \frac{1}{u_a} \sqrt{\frac{\sum (u_i - \bar{u}_a)^2}{m}} \right] \times 100\% \quad (7)$$

式中: \bar{u}_a 为断面平均流速(m/s); u_i 为第 i 测点的流速(m/s); m 为断面测点总数。

从表2方案1容易看出,水流在进入进水池前已有了较好的均匀度,采取适当措施,均匀度亦能有所提高,其中以底坎措施(方案5、6)改善效果最佳。相比之下,“Y”型、“T”型导流墩以及导流墙在原理上只是对来水进行了流量上的重新分配,并未对竖向水流做出调整,改善效果并不明显。虽然泵站进水池前侧已经有了很高的流速分布均匀度,但还应该考虑水流方向,因为流速均匀度并不能反映水流的偏角。

表2 断面流速均匀度

Tab. 2 Evenness of section's velocity

方案号	流速分布均匀度 V_u (%)		
	A-B	G C	E E
1	82.13	62.26	57.18
2	85.27	65.35	59.90
3	82.82	67.58	62.33
4	80.92	62.35	60.84
5	90.56	81.32	54.26
6	87.75	80.49	62.57

3 前池流态分析

3.1 原始方案流态

原始方案在设计水位情况下面层及底层流态见图4。

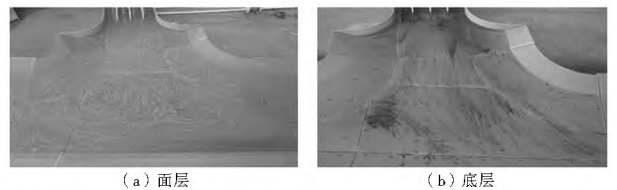


图4 原始方案(方案1)流态

Fig. 4 Flow pattern of the original scheme (scheme 1)

由于河口来流侧向进水,受弯道水流和水槽侧壁的阻碍以及惯性作用,试验中可见主流偏向外侧,引起整个前池内的流态恶化,前池内无论是面层还是底层,均出现了大范围回流。当水流产生局部变形时,会产生水流分离的现象,而分离面上出现的摩擦力会使分离面周围的水体将随着主流向下游运动。同时,边壁附近水体会进来补充产生的空隙,因此就形成了一个封闭的水流系统^[16]。底流在进水池前偏斜角度较大,边侧水流偏斜尤为严重,最大可达 50° 。紧靠进水池左前斜坡上存在较大范围的回旋区,长时间的运行后会造泥沙淤积,使泵站进水条件进一步恶化,从而影响泵站的安全、稳定运行。

3.2 设计水位模型方案流态

试验发现无论采取何种措施,前池大面积回流

依然存在。

方案 2- 方案 6 设计水位模型试验方案在设计水位下底层流态见图 5- 图 9。



图 5 方案 2“Y”型导流墩流态

Fig. 5 Flow pattern of scheme 2: "Y" type diversion pier

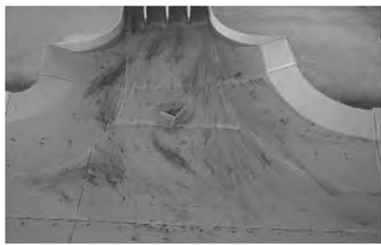


图 6 方案 3“T”型导流墩流态

Fig. 6 Flow pattern of scheme 3: "T" type diversion pier



图 7 方案 4 导流墙流态

Fig. 7 Flow pattern of scheme 4: diversion wall



图 8 方案 5 4 cm 窄底坎流态

Fig. 8 Flow pattern of scheme 5: narrow bottom sill (4 cm)

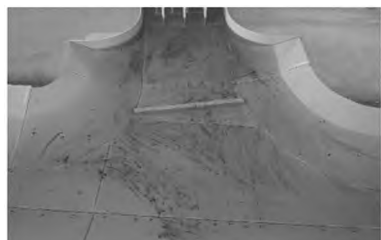


图 9 方案 6 高宽底坎流态

Fig. 9 Flow pattern of scheme 6: high and wide bottom sill

方案 2 加设“Y”型导流墩的措施有利于调整进口水流的流量和流向分配, 使进口水流平稳与水量

分配均匀, 减少了水流从两侧产生回流和漩涡等不良流态现象。水流经过“Y”型导流墩后, 被分割成两股主流, 使整体水流分布趋于合理, 前池流态得到改善。低水位运行时, 因为流速较大, 在导流墩后侧容易产生明显尾涡。部分尾涡会被带入进水池, 对水泵运行十分不利。为防止这一流流对水泵进水产生不良影响, 在“Y”导流墩后增加一矮底坎进行消涡。

方案 3 中, 通过改变“Y”型导流墩的角度及位置得到“T”型导流墩, 底层水流在进水池前调整得更为顺直, 进水池左前斜坡上回旋范围变小了, 进水池前的水流偏流角度变小, 达到较为理想的整流效果。

方案 4 采用导流墙措施, 整流效果较为显著, 其后方依然会形成尾涡, 但与“Y”型导流墩相比, 尾涡个数明显减小。考虑结构稳定性, 可在导流墙后侧加设扶壁。

底坎结构简单, 便于施工, 已在许多工程中用于前池整流。底坎高度对坎后流态也有一定影响, 高度太小会占水深的比例变小, 坎的整流作用变得很小。而在低水位运行时, 过高的底坎可能会影响过流, 导致水泵无法正常运行。

4 结论

(1) 通过理论分析与原模型试验的实践, 确定进行在模型试验时, 以 Froude 准则为基础, 适当提高模型水流速。从而可以准确模拟出泵站的进水流态和泵站进水前池内发生的漩涡和回流, 为实际工程的设计与改造提供了科学依据。

(2) 在未采取任何工程措施的情况下, 侧向进水, 站前横向流速会较大, 引河内面层与底层出现大面积的回旋流动。这容易造成前池内泥沙淤积, 使进水流态进一步恶化, 影响水泵的安全高效运行。

(3) 在泵站前池内设置整流措施可有效改善站前水流流态和流速分布均匀度。改善泵站进水流态可以有效地提高水泵性能和减少泥沙淤积, 提高泵站运行的经济性和稳定性, 降低成本, 提高效益。

参考文献(References):

- [1] 成立, 刘超, 周济人, 等. 泵站侧向进水流态及其改善措施机理探讨[J]. 排灌机械, 2001, 19(1): 31-34. (CHENG Li, LIU Chao, ZHOU Ji ren, et al. Discussion on the side direction flow of pumping station and improving of the flow pattern [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2001, 19(1): 31-34. (in Chinese))
- [2] 徐辉, 张林. 侧向进水泵站前池整流技术研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(6): 84-88. (XU Hui, ZHANG Lin. Re

- view of flow pattern modifying technology for pump sump with side inlet[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(6): 84-88. (in Chinese)
- [3] 周济人, 刘超, 汤方平, 等. 泵站复杂前池内的流态改善研究. 江苏农学院学报, 1998(4): 93-96. (ZHOU Jiren, LIU Chao, TANG Fangping, et al. Study on improvement of flow pattern in complex front pool of pumping station[J]. Jiangsu Agricultural Research, 1998(4): 93-96. (in Chinese))
- [4] 周济人, 刘超, 汤方平. 大型泵站前池水流流态的模拟[J]. 水利水电技术, 1996(9): 41-43. (ZHOU Jiren, LIU Chao, TANG Fangping. Simulation on the flow pattern in diffusion channel of large pump station[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1996(9): 41-43. (in Chinese))
- [5] 于永海, 成斌. 侧向引水及进水泵站进水流态 CFD 模拟分析与优化[J]. 水利水电技术, 2012(2): 72-75, 89. (YU Yonghai, CHENG Bin. CFD simulation and optimization on inflow pattern of diversion and intake pumping stations with side inlets[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012(2): 72-75, 89. (in Chinese))
- [6] 周济人, 汤方平, 刘超, 等. 改善王山泵站前池水流流态的试验研究[J]. 排灌机械, 1995(2): 12-17, 65. (ZHOU Jiren TANG Fangping LIU Chao, et al. Modeling study on improving flow pattern in diffusion channel of wangsan pumping station[J]. Drainage And Irrigation Machinery. 1995(2): 12-17, 65. (in Chinese))
- [7] 陈树容, 邱静. 改善大型泵站前池水流流态的试验研究[J]. 人民珠江, 2006(4): 15-17. (CHEN Shurong, QIU Jing. Modeling study on improving flow pattern in diffusion channel of large pumping station[J]. Pearl River, 2006(4): 15-17. (in Chinese))
- [8] 陈椿庭, 姜国安. 水工模型试验[M]. 第二版. 北京: 水利水电出版社, 1985. (CHEN Chunting, JIANG Guoanfang. Hydraulic model test [M]. The 2nd edition. Beijing: China Water & Power Press, 1985. (in Chinese))
- [9] 刘超, 韩旭. 泵站侧向进水引河段三维紊流数值模拟[J]. 排灌机械, 2009, 27(5): 281-286. (LIU Chao, HAN Xu. Numerical simulation of turbulent flow in forebay with side intake of pumping station[J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2009, 27(5): 281-286. (in Chinese))
- [10] 罗灿, 成立, 刘超. 泵站正向进水前池底坎整流机理数值模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2005, 32(5): 393-398. (LUO Can, CHENG Li, LIU Chao. Numerical simulation of mechanism for sill rectifying flow in pumping station intake[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2005, 32(5): 393-398. (in Chinese))
- [11] 罗灿, 刘超. 多机组泵站侧向进水特性模拟和改进研究[J]. 水力发电学报, 2015(1): 207-214. (LUO Can, LIU Chao. Numerical simulation and improvement of side intake characteristics of multi-unit pumping station[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2015(1): 207-214. (in Chinese))
- [12] American hydraulic institute, ANSI/Ó 9. 8 1998, American national standard for pump intake design[S]. 1998.
- [13] 王芳芳, 吴时强, 肖潇, 等. 三维数值模拟在泵站侧向进水前池的应用[J]. 水利水运工程学报, 2014(2): 54-59. (WANG Fangfang, WU Shirong, XIAO Xiao, et al. 3-D Numerical Simulation for Side inlet Forebay of a Pumping Station[J]. Hydro Science and Engineering, 2014(2): 54-59. (in Chinese))
- [14] 高传昌, 刘新阳. 泵站前池与进水池整流方案数值模拟[J]. 水力发电学报, 2011(2): 54-59. (GAO Chuanchang, LIU Xinyang. Numerical simulation of flow pattern modification schemes for the forebay and suction sump of pumping station[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011(2): 54-59. (in Chinese))
- [15] 资丹, 王福军. 大型泵站进水流场组合式导流墩整流效果分析[J]. 农业工程学报, 2015(16): 71-77. (ZI Dan, WANG Fuyun. Effects analysis on rectifying intake flow field for large scale pumping station with combined diversion piers[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015(16): 71-77. (in Chinese))
- [16] 李君涛, 张公略, 冯小香. 导流墩改善口门区水流条件机理研究[J]. 中国港湾建设, 2011(2): 1-3. (LI Juntao, ZHANG Gonglue, FENG Xiaoxiang. Improvement mechanism of flow conditions at the entrance of approach channel by diversion pier[J]. China Harbour Engineering, 2011(2): 1-3. (in Chinese))
- [17] 葛新峰, 冯源. 侧向进水泵站配水孔数模优化[J]. 水利水电技术, 2010(03): 59-63. (GE Xinfeng, FENG Yuan. Numerical model based optimization on distribution hole of pumping station with side inlet[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010(3): 59-63. (in Chinese))
- [18] 屈磊飞, 陈松山, 王林锁. 泵站侧向进水三维流动数值模拟[J]. 水资源与水工程学报, 2007(2): 26-30. (QU Leifei, CHEN Songshan, WANG Linsuo. Numerical simulation of 3D flow for the side direction in take water in pumping station[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2007(2): 26-30. (in Chinese))
- [19] 李效旭, 郑源. 大型泵站侧向进水前池模拟及水力优化[J]. 水电能源科学, 2011(7): 132-135, 145. (LI Xiaoxu, ZHENG Yuan. Simulation and hydraulic optimization of lateral inflow forebay of large pumping station[J]. Water Resources and Power, 2011(7): 132-135, 145. (in Chinese))
- [20] 徐存东, 崔晓艳, 王小振. 泵站侧向进水前池淤积机理及减淤措施研究[J]. 新技术新工艺, 2010(10): 5-8. XU Cundong, CUI Xiaoyan, WANG Xiaozhen. Research on the reasons of the sediment deposition and the measures of anti-sedimentation in the side direction inflow forebay of pumping station[J]. New Technology & New Process, 2010(10): 5-8. (in Chinese))