



小清河王道船闸省水工程措施

钱黎辉，江 涛

(中交水运规划设计院有限公司，北京 100007)

摘要：针对北方地区水资源相对匮乏的问题，结合小清河王道船闸工程，探讨船闸省水措施，提出了两种不同输水布置的带深浅水池的多级省水池平面布置方案和运行方式，和单级省水池单独运行、单级省水池结合泵站运行的输水布置及运行方式。对比分析得出以下结论：1)两个省水方案均满足规范和省水使用要求；2)多级省水池省水率高、单级省水池结合泵站运行输水时间长。3)类似工程选用省水方案需结合水资源条件、船闸通过能力需求、输水时间、场地布置、施工条件、工程投资等多方面比选综合确定。

关键词：省水船闸；省水池；输水系统

中图分类号：U 641

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)S1-0149-06

Water saving engineering measures of Wangdao ship lock in the Xiaoqing River

QIAN Li-hui, JIANG Tao

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In view of the relative shortage of water resources in the northern region, combined with the Wangdao ship lock project in the Xiaoqing River, the water-saving measures of the ship lock are discussed, and two different plane layout schemes and operation modes of multi-stage water-saving pools with deep and shallow pools and different water deliveries are put forward, namely, single-stage water-saving pools operating alone and single-stage water-saving pools combined with pumping station operation. The following conclusions are drawn from the comparative analysis: 1) Both of two water-saving schemes meet the requirements of the specification and water-saving use. 2) The multi-stage water-saving tank has a high water saving rate, and the single-stage water-saving tank combined with the pump station has a long water delivery time. 3) The selection of water-saving schemes for similar projects needs to be comprehensively determined in combination with water resource conditions, ship lock throughput capacity requirements, water delivery time, site layout, construction conditions, and project investment.

Keywords: water-saving ship lock; water saving; water delivery system

1 工程背景

王道枢纽为山东省小清河航道最下游梯级，船闸建设规模为 $280\text{ m}\times34\text{ m}\times5.0\text{ m}^{[1]}$ ，一次输水过程耗水量最高达 5.2 万 m^3 (最大设计水头 4.9 m)。鉴于航道水资源匮乏、船闸运行耗水量大，为减少航运耗水，尤其为确保枯水年份航道正常通航，考虑航运枢纽配套建设省水设施。根据国内外工程实践和研究成果，选择省水池为船闸省水设施。

根据项目建设条件，枢纽设计过程中先后提出了多级省水池、单级省水池以及省水池结合翻水泵站等多种省水工程方案，同时对省水池相应的输水系统布置进行了分析研究。

为减少对船闸通过能力的影响，省水池在航道低水位条件下启用^[2]，此时上、下游设计最低通航水位分别为 2.8 m 和 -0.9 m ，对应设计水头为 3.7 m 。

2 多级省水池方案

2.1 省水池布置

多级省水池拟采用两级省水池(深浅水池)方案,两级省水池位于船闸闸室右岸,与闸室平行布置,深水池靠近闸室,与闸室间距约20 m,浅水池与深水池亦相距20 m,见图1。两级省水池

平面面积与闸室水域面积基本相当,深水池平面尺寸为240 m×44.46 m(长×宽),浅水池平面尺寸为300 m×37.05 m。考虑到深浅水池底部留有一定剩余水头,浅水池底高程为-1.2 m,深水池底高程为-4.0 m。

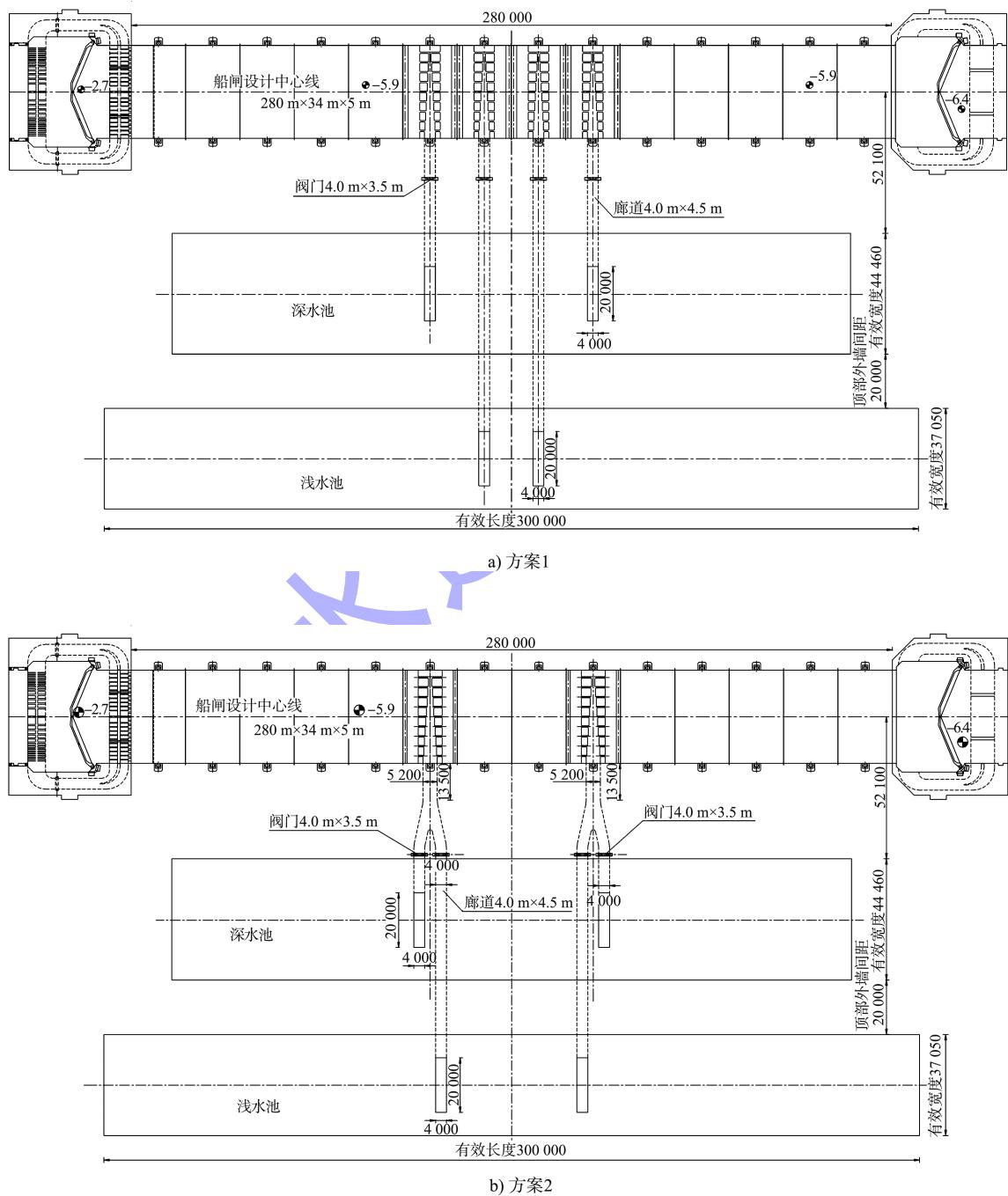


图1 多级省水池输水系统平面布置(高程: m; 尺寸: mm)

2.2 运行状态

充水过程中, 深浅水池初始水位 1.32 m、闸室初始水位 -0.9 m, 深浅水池向闸室充水至水位齐平; 闸室剩余水头通过上闸首向闸室内充水至上游水位。省水池向闸室充水最大水头 2.22 m, 上游向闸室充水最大水头 2.22 m。泄水过程中, 闸室初始水位 2.8 m, 深浅水池初始水位 0.58 m, 闸室向深浅水池泄水至水位齐平; 闸室内剩余水头通过下闸首向下游航道泄水至水位齐平。闸室向省水池泄水最大水头 2.22 m, 闸室向下游泄水最大水头 2.22 m。船闸省水池运行状态输水过程水位变化见表 1。

表 1 多级省水池运行状态输水过程水位变化

输水过程	充泄水	位置	初水位/m	末水位/m	水头/m
1	省水池充水	闸室	-0.90	0.58	
		浅水池	1.32	0.58	2.22
	省水池泄水	深水池	1.32	0.58	
		闸室	2.80	1.32	
2	省水池充水	浅水池	0.58	1.32	2.22
		深水池	0.58	1.32	
	省水池泄水	闸室	0.58	2.80	2.22
		深水池	-	-	
3	省水池充水	浅水池	-	-	
		深水池	-	-	
	省水池泄水	闸室	1.32	-0.90	2.22
		深水池	-	-	
4	省水池充水	浅水池	-	-	
		深水池	-	-	

注: 输水过程 1 指省水池与闸室之间充泄水, 输水过程 2 指船闸上下游与闸室充泄水。

2.3 多级省水池输水系统布置

根据省水池输水廊道与闸室连接位置和方式

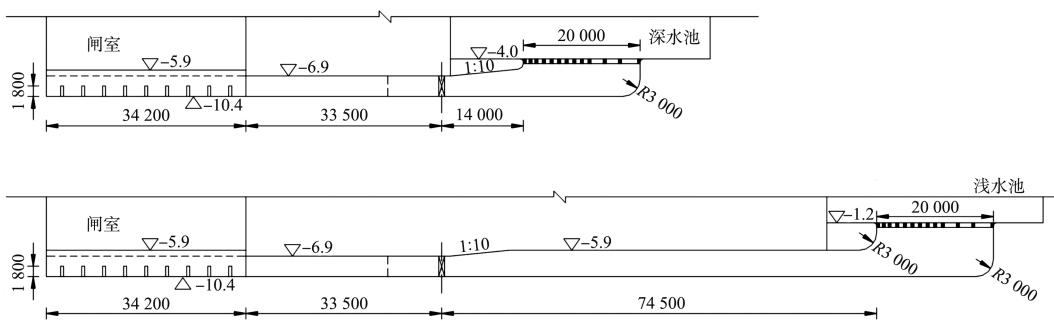
的不同, 省水池输水系统有 2 个布置方案。对于水力计算, 通过选用合适的阀门开启方式^[3], 各个布置方案船闸充泄水过程总输水时间和闸室、引航道水流条件等理论上均能基本满足设计和规范要求^[4]。

2.3.1 多级省水池输水系统布置方案 1

方案 1 省水池输水系统采用闸底中段横支廊道侧出水孔布置, 闸底中段设 4 个横支廊道, 每个横支廊道伸出闸室后各有两支与深浅水池进水口相连。输水时均通过这 4 个横支廊道同时进行, 闸室内采用明沟消能设施, 输水阀门布置在闸室与深水池之间, 见图 1a)。深浅水池底部中段上、下游侧分别布置 1 个进(出)水口与连接廊道相连, 尺寸均为 20.0 m×4.0 m(长×宽), 进水口顶部布置消能格栅进行消能, 以确保闸室与省水池互相输水时均匀出流。

2.3.2 多级省水池输水系统布置方案 2

方案 2 输水系统也采用闸底中段横支廊道侧出水孔布置, 但闸底中段仅布置 2 个横支廊道, 每个横支廊道伸出闸室后呈叉管体型分成 2 个廊道, 分别与深浅水池进水口相连。输水时均通过闸底中段横支廊道同时进行, 闸室内通过明沟消能设施进行消能, 输水阀门布置在闸室与深水池之间, 靠近深水池侧, 见图 1b)。多级省水池输水系统横河向剖面、闸室消能设施布置见图 2。



a) 横支廊道剖面

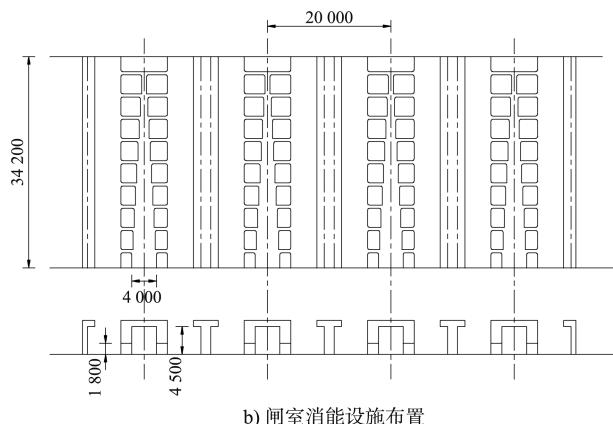


图 2 多级省水池方案 (高程: m; 尺寸: mm)

3 单级省水池方案

3.1 单级省水池布置和运行状态

单级省水池平行布置于闸室右岸, 省水池中心线与闸室中心线间距 97 m。水池底高程-0.2 m, 底部尺寸 240 m×40 m; 顶高程 7.0 m, 顶部尺寸 280 m×80 m。水池断面为倒梯形, 坡比 1:2.5, 在 3.0 m 高程处设置 2 m 宽的戗台。

单级省水池方案在下游对应设置翻水泵站, 泵站从下游航道抽水进省水池, 故省水池运行时按是否启用泵站分两种运行状态: 单级省水池结合泵站运行和单级纯省水池运行状态。

3.2 单级省水池结合泵站运行状态

单级省水池结合泵站运行状态仅往闸室充水。上游水位 2.80 m, 闸室初始水位同下游水位-0.90 m, 省水池初始水位 0.95 m。充水过程中: 1) 通过翻水泵站从下游航道抽水至省水池水位 2.60 m; 2) 省水池向闸室充水至水位齐平(0.95 m); 3) 闸室剩余水头通过上闸首向闸室内充水至上游水位 2.80 m。该运行状态省水池向闸室充水最大水头 3.50 m, 上游向闸室充水最大水头 1.85 m。输水过程水位变化见表 2。

表 2 单级省水池结合泵站输水过程水位变化

输水过程	位置	初水位/m	末水位/m	水头/m
1	闸室	-0.90	0.95	3.50
	省水池	2.60*	0.95	3.50
2	闸室	0.95	2.80	1.85
	省水池	-	-	-

注: 2.60* 表示通过翻水泵站从下游航道抽水至省水池水位 2.80 m。

3.3 单级纯省水池运行状态

单级纯省水池运行状态与闸室互灌互泄。充水运行时, 上游水位 2.800 m, 闸室初始水位同下游水位-0.900 m, 省水池初始水位 1.562 m。充水过程中: 1) 省水池向闸室充水至水位齐平(0.338 m); 2) 闸室剩余水头通过上闸首向闸室内充水至上游水位 2.800 m。该运行状态省水池向闸室充水最大水头 2.462 m, 上游向闸室充水最大水头 2.462 m。

泄水运行时, 下游水位-0.900 m, 闸室初始水位同上游水位 2.800 m, 省水池初始水位 0.338 m。泄水过程中: 1) 闸室向省水池泄水至水位齐平(1.562 m); 2) 闸室内剩余水头 2.462 m 通过下闸首往下游航道泄水至-0.900 m。该运行状态闸室向省水池泄水最大水头 2.462 m, 闸室向下游泄水最大水头 2.462 m。

单级纯省水池运行状态输水过程水位变化见表 3。

表 3 单级纯省水池运行状态输水过程水位变化

输水过程	充泄水		初水位/m	末水位/m	水头/m
	闸室	省水池			
1	纯省水池充水	闸室	-0.900	0.338	2.462
	纯省水池充水	省水池	1.562	0.333	
2	纯省水池泄水	闸室	2.800	1.562	2.462
	纯省水池泄水	省水池	0.338	1.562	
3	纯省水池充水	闸室	0.338	2.800	2.462
	纯省水池充水	省水池	-	-	-
4	纯省水池泄水	闸室	1.562	-0.900	2.462
	纯省水池泄水	省水池	-	-	-

3.4 单级省水池输水系统布置

单级省水池与闸室连接廊道输水阀门处廊道尺寸与多级省水池方案一致, 取 $2 \times 4.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ ($2 \times \text{宽} \times \text{高}$) = 28.0 m^2 , 输水阀门布置在闸室与省水池之间, 靠近省水池侧。

闸室和单级省水池之间采用输水廊道连通, 输水系统仍采用闸底中段横支廊道侧出水孔布置(同多级省水池布置方案闸底中段横支廊道侧出水孔布置), 闸底中段布置 2 个横支廊道, 断面尺寸均为 $5.2 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ (宽×高), 每个横支廊道伸出闸室 10 m 后断面宽度由 5.2 m 渐缩为输水阀门断面宽度 4 m, 再与省水池进(出)水口相连, 省水池

出流通过进(出)水口顶部消能格栅进行消能。同时为减少省水池格栅式进(出)水口的表面漩涡,

在进(出)水口局部挖深 1.0 m。单级省水池布置方案见图 3。

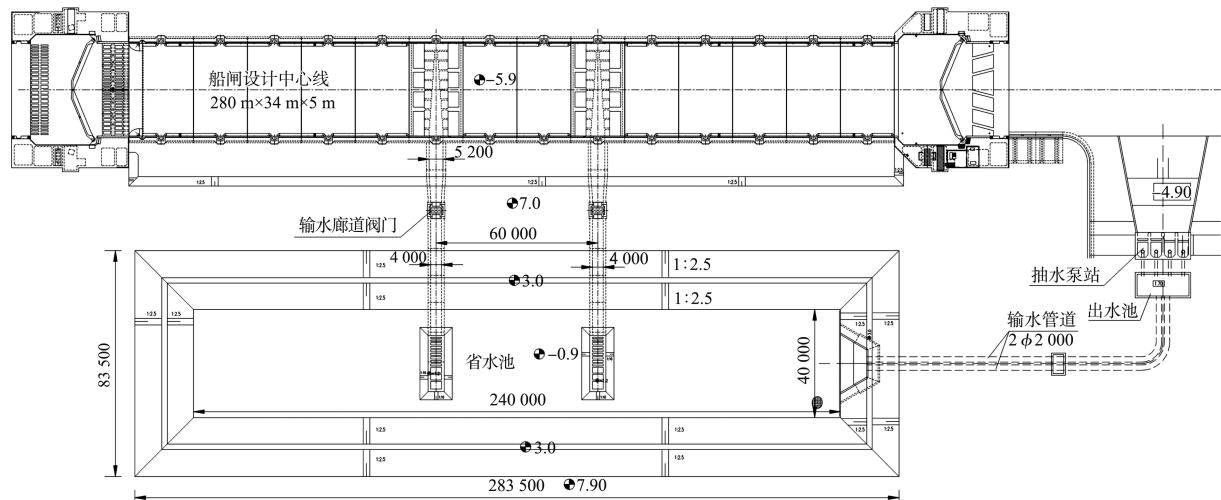


图 3 单级省水池及抽水泵站平面布置 (高程: m; 尺寸: mm)

4 方案对比分析

4.1 省水率

根据文献[5], 若省水池面积与闸室面积相等, 省水率为:

$$E_w = \frac{N}{N+2} \quad (1)$$

式中: E_w 为每次过闸的省水率; N 为省水池数量。多级(二级)省水池对应两方案省水率为 50%, 但其占用场地面积大, 适合闸室周边场地宽阔的船闸; 多级(二级)省水池方案 1 闸室 4 节结构为省水池连通段特殊结构, 工程费用相对更高。单级省水池方案省水率为 33.3%, 省水率稍低, 但占用场地小, 工程投资小; 对于单级省水池结合泵站方案, 因启用泵站从下游抽水, 省水率可达 100%, 但运营费用较高, 若泵站规模较大则会对方案经济性造成较大影响。

4.2 输水时间等水力学指标

通过省水池方案水力学指标对比(表 4), 多级(二级)省水池较单级省水池省水率高, 但工程费用同样高。为了满足停泊条件, 二级和单级省水池船闸输水时间总体差异不大; 反而是单级省水池结合泵站方案输水时间最长, 会对船闸通过

能力产生一定影响。王道船闸考虑到设计水头较低, 同时为节约工程投资, 最终采用了单级省水池加泵站方案, 运行时可视枯水期水资源条件灵活机动启用省水池或抽水泵站。

表 4 省水池方案水力学指标对比

方案	充/泄 水	输水时 间/s	省水池输水 最大流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	闸首输水 最大流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	闸室最大 平均流速/ (m·s ⁻¹)
多级(二级)	充水	579	119.8	124.4	0.62
省水池	泄水	542	121.2	146.3	0.70
单级省水池	充水	583	117.1	130.5	0.61
单级省水池	泄水	582	111.0	144.1	0.62
结合泵站	充水	633	120.8	106.0	0.60
结合泵站	泄水	-	-	-	-

注: 单级省水池结合泵站仅考虑从省水池往闸室充水。

5 结论

1) 多级省水池、单级省水池及结合翻水泵站方案, 其布置方式均是合适的, 满足船闸省水工程布置的需求。根据船闸省水运行工况, 本文提出的省水池与闸室连通方案、输水系统布置及尺寸能满足规范和船闸使用要求。

2) 各方案各有优缺点, 可根据项目的水资源条件、通过能力需求、场地布置、施工方式、工

程投资等综合比较后选用适合的方案。

3) 省水池布置及输水系统布置等为省水船闸设计中的关键问题, 目前国内仍未建成设置省水池的省水船闸, 本船闸建成后将成为国内首批该类型省水船闸, 为类似工程提供参考。

参考文献:

- [1] 杨尊伟.小清河复航工程主要设计方案综述[J].山东交通科技, 2018(4): 34-35.
- [2] 中设设计集团股份有限公司.小清河复航工程(东营

(上接第 123 页)

4) 采用上述方法并结合模型试验得出: 长江中游大型人工水道最小断面尺寸为底宽 90 m、水深 8 m、边坡 1:3, 建议取底宽 90 m、水深 9 m、边坡 1:3。

参考文献:

- [1] 盛振邦, 刘应中.船舶原理[M].上海: 上海交通大学出版社: 299-304.
- [2] PIANC. Design guidelines for inland waterway dimensions[M].

(上接第 129 页)

- [3] PIANC. Innovations innavigation lock design[R]. Brussel: PIANC, 2009.
- [4] PIANC. Service Waterway & Harbour Information Final report of the International Commission for the study of locks [R]. Brussel: PIANC 1992.
- [5] 左正, 胡昱, 李庆斌, 等. 大体积混凝土温度应力耦合直观化仿真计算系统 [J]. 计算力学学报, 2013, 30(S1):

段) 施工图设计[R].南京: 中设设计集团股份有限公司, 2019.

- [3] 李中华, 陈莹颖.王道船闸翻水(省水)设施数学模型试验研究[R].南京: 南京水利科学研究院, 2018.
- [4] 南京水利科学研究院, 天津水运工程科学研究所.船闸输水系统设计规范: JTJ 306—2001[S].北京: 人民交通出版社, 2001.
- [5] 周玉华, 刘锋.省水船闸初探[J].水运工程, 2006(10): 156-159.

(本文编辑 武亚庆)

Brussels: PIANC, 2019.

- [3] 长江航道局.内河通航标准: GB 50139—2014[S].北京: 计划出版社, 2014.
- [4] 天津水运工程科学研究所.运河通航标准: JTS 180-2—2011[S].北京: 人民交通出版社, 2011.[5] 吴澎.深水航道设计[M].北京: 人民交通出版社, 2011: 50-70.
- [5] 吴澎.深水航道设计[M].北京: 人民交通出版社, 2011: 50-70.

(本文编辑 武亚庆)

1-6.

- [6] 刘本芹, 宣国祥.桂林市桂江巴江口船闸改扩能工程省水船闸输水系统水力学模型试验研究[R].南京: 南京水利科学研究院, 2019.
- [7] 中交水运规划设计院.船闸水工建筑物设计规范: JTJ 307—2001[S].北京: 人民交通出版社, 2001.

(本文编辑 武亚庆)