

目 录

第一章 项目研究背景	1
1.1 导井法施工状况	1
1.2 项目立项背景	2
1.3 本课题研究的主要内容	3
1.4 项目主要创新点	3
1.5 项目应用前景	4
第二章 各种导井法施工的比较	5
2.1 概述	5
2.2 正导井开挖法	5
2.3 反导井开挖法	5
2.4 反井爬罐导井开挖法	6
2.5 反井吊罐导井开挖法	6
2.6 一次钻孔反井分段爆破开挖法	7
2.7 反井钻机导井开挖法	7
2.8 各种竖井导井开挖方法指标比较	8
第三章 反井钻机主要性能及参数	9
3.1 反井钻机型号及生产商	9
3.2 设备组成	9
3.3 施工技术参数	10
3.4 辅助设备及相关设施	11
第四章 反井钻机导井法施工技术	12
4.1 反井钻机施工原理	12
4.2 施工程序	12
4.3 施工机械设备组合及人员配置	12
4.4 施工准备	14
4.5 施工布置	14
4.6 施工工艺流程	16
4.7 施工方法	17
第五章 工程实例分析	19
5.1 概述	19
5.2 各工程造孔统计记录	19
5.3 不同岩性的可钻性分析	22
第六章 反井钻机导井法施工在复杂地质中的精度控制要点	23
6.1 竖井施工精度控制要点	23
6.2 长斜井施工精度控制要点	26
6.3 竖井、斜井施工精度控制实例分析	27
第七章 硬岩中的反井钻机导井法施工关键技术控制	30
7.1 硬岩施工难点分析	30
7.2 硬岩针对性施工措施	30

第八章 不良地质地层导孔钻进的施工技术控制要点	34
8.1 导孔在不良地质的施工情况分析	34
8.2 常见情况的解决方法	34
8.3 关键性技术的解决方法	35
8.4 不良地质地层施工方法	36
第九章 反井钻机导井施工方法效益评判	38
9.1 引言	38
9.2 手风钻导井法施工成本及进度分析	38
9.3 反井钻机导井法施工成本及进度分析	39
9.4 反井钻机导井法施工效益分析	42
9.5 反井钻机导井法施工方法综合效益评判模型	42
9.6 反井钻机导井法施工与手风钻导井法施工效益评判	46
第十章 施工总结	49

第一章 项目研究背景

1.1 导井法施工状况

在水利水电地下工程施工中，采用竖井和斜井结构型式的水工建筑物较多，常见的主要有引水系统中的斜井或竖井、调压井、闸门井、出线井、通风井及交通井等。由于竖井及斜井施工具有工作面窄小、通风困难，工人高空作业、受到炮烟、落石、淋水和粉尘的危害等不安全因素较多。竖井、斜井施工素有“咽喉工程、死亡之谷”之称。因此竖井及斜井施工历来都是水电施工行业的难点和重点。

斜井和竖井施工方法有全断面一次开挖法和导井开挖法两种方式，其中传统导井法开挖方式有正井、反井或正反井结合法。反导井施工通常采用吊罐法、爬罐法或深孔分段爆破法，传统导井法施工目前在水利水电工程中应用比较普遍，施工工艺应用得较为纯熟。但需要人员及设备至开挖掌子面进行钻爆施工。因此在施工过程中均不可避免地存在着安全隐患，而通风散烟困难，进度也容易受限制等。据统计，深度在 100m 左右的洞室导井开挖一般日平均进尺在 1~1.5m 左右。人工导井施工方法对井深有一定的限制，深度越深，施工难度越大、安全隐患更多。

反井钻机导井法施工于 1950 年在北美首先发展，60 年代中期，这种方法在欧洲，特别是德国开始受到欢迎，当时反井钻机钻孔直径可达 1.2m，深度为 150~200m，而到 70 年代初期，钻孔直径可到 2.0~2.4m，钻孔深度可达 250~500m。发展到今天，世界上已有众多厂家生产反井钻机，典型的有美国罗宾斯公司可提供 28 种型号的产品，钻孔直径从 1.2~6.0m，钻孔深度可达 900m；德国维尔特公司生产的 HG100、160、210、250、330SP 系列，钻孔直径从 1.4~6.0m，钻孔深度可达 1000m。我国自 70 年代开始研制反井钻机，并先后在煤炭和冶金系统中应用，产品多集中于小直径扩孔的反井钻机，典型产品有苏南煤机厂生产的 LM-90、LM-120、LM-200 系列、长沙矿山研究院生产的 TYZ1000、TYZ1200、TYZ1500 系列及西北有色冶金机械厂的 AF-2000 等，钻孔直径为 0.9m~2.4m。

1992 年水电系统第一次引进反井钻机，在十三陵抽水蓄能电站的出线洞、调压井和高压管道斜井等工程上使用反井钻机进行导井法施工，并取得了较好的施工效果。此后反井钻机又在河南小浪底水利枢纽工程、山西万家寨引黄入晋工程、云南大朝山水电站通风竖井（四条总长 486m）、贵州三板溪水电站、云南小湾水电站、湖北水布垭地下厂房等工程的竖井及斜井施工中发挥较大的作用。

虽然反井钻机导井施工法在水电工程竖井和斜井施工应用中，已取得了不少成功的实例，但由于国外反井钻机价格不菲，成本较高，一般单位难以接受，目前国内水电行业中还未应用。国内反井钻机虽价格适中，但目前在中软岩中应用尚还可以，在硬岩中仍有技术问题尚需改进，且施工中特别在钻进中遇到不良地质地段经常出现卡钻、埋钻等事故，严重影响钻孔精度和速度，甚至使钻孔报废。因此反井钻机导井施工法，还需进一步探索与实践，总结施工经验，行成一套完整的施工工艺，并将其予以推广，为水利水电建设事业的发展尽微薄之力。

1.2 项目立项背景

采用传统人工开挖小导井法进行竖井和斜井施工，具有地下水排放困难、出碴难度大、通风条件差、上下立体交叉作业施工安全难以保证等特点。使竖井及斜井施工难度加大，尤其是高差或长度大于 100m 的竖井及斜井施工更是困难重重。另外，通风散烟历来是地下工程施工中的重点及难点，该问题若能解决得好，一方面可加快施工进度，另一方面能给从事地下工程施工的人员提供良好工作环境，减少由于通风散烟条件差对工作人员身体健康造成的危害。

传统通风方法均是采用在洞外安装轴流风机接风管通风，该方法运行成本高，特别是在隧洞较长时通风效果尤其不好。为此，可考虑钻孔通风竖井来解决此难题，若采用人工开挖竖井，难度大、时间长且安全难以保证。设计及施工一般不太采用。因此各设计、施工单位纷纷在寻找一种既快捷又安全的施工方法来满足施工质量、安全及进度方面的需要。

反井钻机导井施工法正是在此基础上产生的。我局在总结前人应用研究的基础上，在水布垭电站施工中利用反井钻机成功地将 183m 竖井仅采用 170 个小时的纯钻进时间就全面贯通。在此基础上，我局充分利用反井钻机的优势，不断摸索，在三板溪电站、小湾电站、广东惠蓄电站推广应用，并取得了较好的效果。特别是在水布垭水利枢纽的引水发电系统中的竖井和斜井、小湾电站、三板溪电站竖井施工中的成功应用，已总结出一套较为完整、成熟的施工工艺。

我局希望能将此工艺进一步推广，进一步拓宽竖井和斜井的施工思路，能更好地解决传统导井法施工工艺带来的一系列弊端，为水电建设带来更高的生产力，更好的推动水电建设事业的发展。目前，水利水电地下工程中竖井和斜井相对较多，反井钻机有很好的应用前景，可以说反井钻机竖井和斜井施工的成功应用，为地下洞室竖井和斜井的设计及施工都提供了很好的思路，具有重要的理论意义和社会经济效益。

1.3 本课题研究的主要内容

- (1) 系统地对反井钻机导井法施工与其它施工方法进行比较；
- (2) 全面系统地介绍反井钻机导井施工方法的工艺流程；
- (3) 不良地质条件下及硬岩中的反井钻机导井法施工关键技术；
- (4) 不良地质条件下的造孔精度控制措施；
- (5) 反井钻机导井法施工与其它导井法施工效益比较；
- (6) 成功工程实例分析。

1.4 项目主要创新点

(1) 为水电工程竖井、斜井施工引进了一套较为方便快捷的施工技术，是有史以来竖井及斜井导井法施工中最有推动力的一次革新，解决了竖井、斜井施工中存在的安全隐患。

(2) 通过合理的稳定钻杆配置及根据钻杆自重原理对斜井造孔倾角作适当调整，保证了反井钻机斜井成孔精度。在斜井精度控制上有重大空突破。

(3) 通过对国内 LM-200 型反井钻机扩孔钻头进行不同型式的改良，适应了该型钻机在不同岩石级别（特别是硬岩）下的扩孔施工。

(4) 在一定条件下的不良地质中总结出强行成孔法施工。

(5) 自行研究设计钻杆打捞器进行钻杆断裂后的孔内钻具打捞，解决了反井钻机在竖井、斜井施工中由于钻杆断裂后的处理难题。

(6) 本工程中首次采用层次分析法数学模型进行反井钻机导井法施工与手风钻导井法施工的效益评判。

(7) 在国内 LM-200 型反井钻机通过孔口自流形式冷却扩孔钻头的基础上，在各扩孔滚刀上增加冷却系统，增加了扩孔钻头使用寿命，提高了造孔速度。

1.5 项目应用前景

采用国内反井钻机进行竖井及斜井的导井施工进度快、安全性高、操作简便，成本不是太高。但由于该钻机原来仅在中软岩中应用较多，在硬岩、不良地质段应用仍存在不少问题，如能解决在硬岩、不良地质段施工中的一些关键性技术，国内反井钻机就能在水电工程施工中推广应用。我局通过在大朝山电站、水布垭电站、小湾电站、三板溪电站、广东惠蓄电站等进行工程实践后，在中硬岩（如灰岩）、硬岩（玄武岩、花岗岩）或不良地质段（水布垭电站）的竖井及斜井施工中均有重大突破。并对反井钻机进行了针对性改良，掌握了一些如造孔过程中难点的解决方法及保证钻孔精度方面的一些关键性技术。相信通过对这些关键性技术的掌握，国内反井钻机导井法施工将会在水电施工行业全面推广，从而对发展生产力，提高安全生产与文明施工管理水平，保证国民经济持续、快速、健康发展具有重大意义。

第二章 各种导井法施工的比较

2.1 概述

水力发电站为满足不同条件和对水工结构物功能上的要求，设立地下竖井式闸门井、调压井和垂直与斜井压力管道。根据对我国 68 座不同坝型和不同开发型式的大型水电站的统计，其中有地下竖井、斜井的电站就有 28 座，占 41%，而且每座电站都有数个竖井、斜井。从规模上看，调压井直径已达 24m 以上，井深达 90m 以上，垂直压力管道深度已达 300m 以上。天生桥二级两段斜井深已达 754m，可以说竖井、斜井在水电建设中占有一定的比重。竖井、斜井开挖又是其施工的重要环节，而且由于竖井、斜井施工难度很大，往往是电站建设工期的控制项目之一。为了解决这个难题，水电建设者们克服了诸多困难，不断地学习、借鉴、研究和应用新的施工方法和技术，推动了我国水电竖井、斜井开挖技术的发展。

从开挖方法和施工设备的发展来看，已从正井人工吊碴开挖发展到人工反井溜碴法、人工配合机械的反井吊罐法、反井爬罐法。而后又发明了劳动强度较低的一次钻孔反井分段爆破法和反井钻机开挖方法等。应该说，从正井开挖进入应用重力势能的反井开挖法，是竖井开挖技术质的飞跃。一次钻孔分段爆破是一项技术进步，而反井钻机的应用更使竖井、斜井开挖进入了一个新的阶段。

2.2 正导井开挖法

上马岭电站调压井开挖和压力管道上部开挖，采用自上而下的正井开挖方法。天生桥调压井为了加快施工进展，顶部也采用上部吊碴方法。永定河上马岭电站压力管道倾角 $33^{\circ} 11' 26.5''$ ，开挖直径 6.6m，全长 179m，开始从上弯段向下开挖，施工十分困难，进展很慢，后来在中间增开一条“七、一”支洞，开始从下而上的反井开挖，初步解决了出碴问题。

2.3 反导井开挖法

云南大朝山电站尾水设 4 个闸门井，开挖断面为 $12 \times 16\text{m}$ ，闸门井高 45m

，都是采用 $2 \times 3 \text{ m}$ 断面开挖反导井，采用人工搭设脚手架平台进施工反井施工，施工中配置 2 台手风钻，47 天向上开挖导井 45m，平均日进尺 0.96m，最高日进尺 2.5m。

云峰四条压力管道，倾角 45° ，开挖直径 6.3m，钢衬后直径 5.3m，斜长 74.37m。斜井采用上导坑反井溜碴法开挖，导井宽 3m，每排炮钻孔 19 个，孔深 1.6m，进尺 1.4m。这种开挖方法通风条件较差，由于倾角较小，溜碴比较困难。

2.4 反井爬罐导井开挖法

十三陵抽水蓄能电站竖井深 54m，应用反井爬罐法开挖导井，采用由葛州坝工程局设计制造的 PCD-4 型电动爬罐。主罐由罐笼、操作平台和传动装置组成，辅助设备由轨道、安全装置和风水电系统组成。2 台手风钻，22 天向上开挖导井 54m，平均日进尺 2.45m，最高日进尺 4m。

广蓄电站压力管道斜井，上斜井长 406.22m，下斜井长 347.45m。开挖直径 9.7m，倾角 50° 。斜井开挖采用正、反井结合方法施工，先开挖 $2.4 \times 2 \text{ m}$ 下导井（底拱），采用上、下对口四个工作面同时开挖。上部向下开挖提升出碴，下部向上用阿立马克 STH-500 型（柴油）和 STH-588 型（电动）爬罐。上斜井导井用 127 天完成，最高月进尺 90m；下斜井导井用 125 天完成，月进尺 77m。上斜井下口工作面平均日进尺 2.595m，下斜井下口平均日进尺 1.974m。

天生桥电站压力管道，长 159.5m（总计 178.3m）。大井直径 7m，竖井导井用阿立马克爬罐开挖，断面 $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ ，每个循环进尺 1~1.5m，平均月进尺 55m，最高月进尺 80m。

2.5 反井吊罐导井开挖法

反井吊罐开挖导井，是从冶金系统引进到水电六局的，而后在一些水电站施工中推广应用。

渔子溪埋藏式竖井压力管道，总长 295.21m，其中竖井为 272.2m，开挖直径 5.2m，钢衬直径 3.4m，内水压力 9.2MPa。开挖采用红旗 300 型钻机钻设 $\phi 100 \text{ mm}$ 中心孔，最高班进尺 3m，实际偏差为 15~40cm。竖井分三段开挖，每段约 90m，反井吊罐法开挖导井，导井断面为 3.24 m^2 。折叠式吊罐重 400kg，载重 600kg

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/218031021136006054>