

# 某工程坝基防渗帷幕灌浆可灌性分析

吴彬<sup>1,2</sup>, 王东<sup>1</sup>, 董新光<sup>2</sup>

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830091;

2 新疆兵团勘测规划设计研究院地质勘察分院, 新疆石河子 83200)

**摘要:** 通过分析某工程坝址水文地质条件、钻孔压水试验资料及坝基灌浆试验资料, 对坝基帷幕灌浆可灌性及必要性进行了探讨。认为在坝基具体水文地质条件有利于防渗的情况下, 灌浆指标可适当放宽。

**关键词:** 坝基防渗; 帷幕灌浆; 水文地质条件

中图分类号: TU473.1<sup>+</sup>4

文献标识码: A

**Abstract:** By analyzing hydrogeological condition of a dam foundation, the experimental data of pressing water to drilling and grouting to dam foundation, the water permeability of dam foundation, the feasibility and necessity of curtain grouting to the dam foundation are discussed. It is concluded that under the advantageous hydrogeological condition for dam foundation to prevent seepage, a more wide range of grouting index can be adopted in grouting.

**Key words:** seepage prevention for dam foundation; curtain grouting; hydrogeological condition

## 0 引言

该工程是一项以灌溉为主, 同时兼有发电、防洪、保护生态等综合效益的水利枢纽工程。拟建水库总库容  $16.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 正常高蓄水位 995m, 坝型为黏土心墙坝, 坝顶高程 1000m, 最大坝高 111m, 工程规模为大 (I) 型。该工程坝基防渗帷幕设计深度 25~50m, 比 1Lu 下限还深, 而坝基具体水文地质条件又有利于防渗, 故对坝基帷幕灌浆的深度提出了疑问, 对灌浆的必要性进行了分析。

坝址区位于高山峡谷河段, 河谷呈“V”型, 岸坡陡立, 发育沟梁相间的梳状地形。黏土心墙镶嵌在左、右两岸冲沟中, 上、下游边坡均为顺层面的陡坡, 近直立, 坡高 20~60m。

## 1 地质概况

### 1.1 地层岩性

坝址区处在单斜地层中, 出露的地层岩性为石炭系下统 (C<sub>1a</sub>) 凝灰岩和泥晶灰岩。坝基黏土心墙主要座于泥晶灰岩上, 少部分座于凝灰岩上。凝灰岩呈中~厚层状, 以坚硬岩为主, 少量为中硬岩。泥晶灰岩呈薄层状, 较破碎。岩层产状:  $80^\circ \sim 90^\circ \text{ NW} \angle 85^\circ \sim 90^\circ$ , 平行于坝轴线, 与河流方向垂直。岩石基本质量分级为 II 类。

### 1.2 地质构造

坝址区主压应力为近南北向水平挤压力 (垂直岩层走向), 无大的断裂通过, 受构造力的作用,

主要发育低序次的断层及节理裂隙。

#### 1.2.1 断层

坝址区断层按走向可分为四组, 其中近 EW 向断层最为发育 (见图 1)。

①近 EW 向: 一组产状  $80^\circ \sim 90^\circ \text{ NW} \angle 80^\circ \sim 90^\circ$ , 以顺层断层为主, 分布广, 延伸长  $\geq 150\text{m}$ , 普遍夹有断层泥, 以压性为主, 兼扭性, 破碎带宽度 2~10cm。另一组产状  $270^\circ \sim 295^\circ \text{ SW}$  或  $\text{NE} \angle 10^\circ \sim 35^\circ$ , 断面呈波状, 受顺层断层的限制, 延伸长一般  $\leq 150\text{m}$ , 破碎带宽 5~25cm, 主要由角砾岩夹断层泥组成, 以压性为主, 数量少, 构造岩胶结好。近 EW 向断层走向与河谷近直交, 由糜棱岩夹断层泥组成, 糜棱岩夹断层泥厚一般为 2~5cm, 该层不透水, 有利于防渗。

②SN 向: 产状  $10^\circ \sim 30^\circ \text{ SE}$  或  $\text{NW} \angle 65^\circ \sim 85^\circ$ , 为顺河向断层, 张扭性, 以反扭为主, 陡倾, 延伸长度一般  $\geq 150\text{m}$ , 构造岩大多未胶结, 风化加剧, 透水性强, 作为大坝基础应进行置换处理和固结灌浆, 在帷幕下须加强防渗处理。据坝基开挖, 该组断层在坝基处发育较少, 主要在两岸高边坡卸荷带范围内发育, 对坝基渗漏影响不大。

③NNW 向: 产状  $345^\circ \sim 360^\circ \text{ SW} \angle 65^\circ \sim 85^\circ$ , NE 向  $30^\circ \sim 70^\circ \text{ SE}$  或  $\text{NW} \angle 60^\circ \sim 85^\circ$ , 压扭性, 延伸长一

收稿日期: 2006-07-31; 修订日期: 2006-12-24

作者简介: 吴彬 (1972-), 男 (汉族), 甘肃陇西人, 博士研究生。

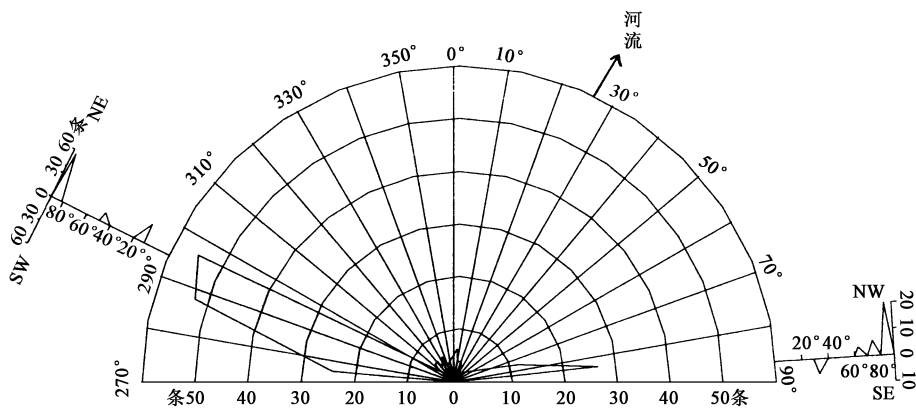


图1 坝址区断层产状玫瑰花图

般 $\leq 100\text{m}$ , 破碎带宽 $15\sim 50\text{cm}$ , 角砾岩夹断层泥组成, 构造岩胶结差。 $30^\circ\sim 70^\circ\text{SE}$ 或 $\text{NW}$   $\angle 15^\circ\sim 50^\circ$ 为中、缓倾角断层, 多被顺层断层限制, 面波状起伏, 压扭性为主, 延伸长一般 $100\sim 150\text{m}$ , 构造岩胶结较好, 透水性较差。

④NW向: 产状 $300^\circ\sim 340^\circ\text{SW}$   $\angle 30^\circ\sim 85^\circ$ , 数量少, 且多被近EW向顺层断层限制, 延伸长一般 $\leq 50\text{m}$ 。坝基部位NE、NW向断层数量不多, 主要分布于河谷两岸, 延伸长一般 $50\sim 100\text{m}$ , 破碎带宽度 $15\sim 50\text{cm}$ , 构造岩为断层角砾岩、碎裂岩夹糜棱岩及少量断层泥, 这两组断层对坝基渗漏影响不大。

### 1.2.2 节理裂隙

据平硐统计及地表调查测绘, 对约6320条节理裂隙统计结果表明, 坝址区主要发育四组节理裂隙, 其中大部分为陡倾角裂隙( $> 60^\circ$ ), 约占总数的55%; 缓倾角( $\leq 30^\circ$ )裂隙约占40%; 中等倾角( $31^\circ\sim 60^\circ$ )约占5%。

①NE向: 产状 $0^\circ\sim 30^\circ\text{SE}$ 或 $\text{NW}$   $\angle 70^\circ\sim 90^\circ$ , 走向与河谷近平行, 延伸长一般 $3\sim 10\text{m}$ , 含次生夹泥, 节理面闭合。产状 $0^\circ\sim 30^\circ\text{SE}$   $\angle 5^\circ\sim 30^\circ$ , 方解石脉充填, 延伸长一般 $\leq 5\text{m}$ , 断续延伸, 面波状, 粗糙。受层面限制, 该组节理延伸不长, 由于节理面闭合且泥质充填, 透水性较小。

②近EW向: 产状 $90^\circ\text{S}$ 或 $\text{N}$   $\angle 5^\circ\sim 30^\circ$ , 方解石脉充填, 延伸长 $3\sim 15\text{m}$ , 断续延伸, 面粗糙, 透水性较小。

③NW向: 产状 $320^\circ\sim 340^\circ\text{NE}$ 或 $\text{SW}$   $\angle 60^\circ\sim 90^\circ$ , 延伸长一般 $\leq 5\text{m}$ , 节理面平直, 多闭合无充填。

④E向: 产状 $30^\circ\sim 45^\circ\text{SE}$ 或 $\text{NW}$   $\angle 70^\circ\sim 90^\circ$ , 延伸长一般 $\leq 5\text{m}$ , 节理面平直, 闭合无充填。

坝址区裂隙受层面限制, 规模一般较短小, 大部分长度为 $2\sim 5\text{m}$ , 在弱风化岩体内, 多呈闭合状。钻孔压水试验成果表明, 强风化以下岩体透水性较

弱, 也表明裂隙面以闭合状为主。节理裂隙平直, 闭合, 充填钙质、泥质及方解石脉, 透水性小。

## 2 坝基水文地质条件

坝址区地下水类型主要为基岩裂隙水, 岩体的透水性主要受裂隙发育程度及断层的控制。从两岸平硐观察, 洞壁湿润或渗水段均为节理裂隙发育地段, 并且明显受最发育的顺层断层的限制, 这是因为顺层断层普遍夹有具隔水作用的断层泥。坝址区垂直岩层方向(顺河向)无统一潜水面, 地下水活动主要局限在顺层断层之间的裂隙带内。坝区两岸5个钻孔地下水位观测资料表明, 地下水多位于弱风化和微风化岩体内, 一般高于河水位 $5\sim 23\text{m}$ , 并具有季节性变化, 地下水补给河水。由于受岩体内裂隙网络的控制, 地下水的运动表现出不均一性和各向异性。由于岩层走向平行于坝线, 坝址区基岩裂隙水主要局限在顺层断层之间的裂隙带内做垂向运动, 通过坝基向坝后的渗漏相对较少。这种坝线与岩层、断层、节理裂产状的组合有利于防渗<sup>[1]</sup>。

## 3 坝基岩体的透水性

坝基岩体的透水性受断层及节理发育程度的控制。通过坝址区47个钻孔的压水试验成果及平硐观测, 基岩透水性有以下规律: (1) 顺层断层带因构造岩挤压紧密, 夹有断层泥, 其透水性较小, 而在断层影响带透水性较大。(2) 河床部位, 基岩透水率较小, 据8个河心孔压水试验成果, 河床部位 $q \leq 3\text{Lu}$ 的界线埋深为 $5\sim 10\text{m}$ ,  $q \leq 1\text{Lu}$ 的界线埋深普遍为 $10\sim 15\text{m}$ 。(3) 坝区弱风化~微风化岩体内节理裂隙多闭合, 且连通性差, 岩体透水性总趋势往深处变小。

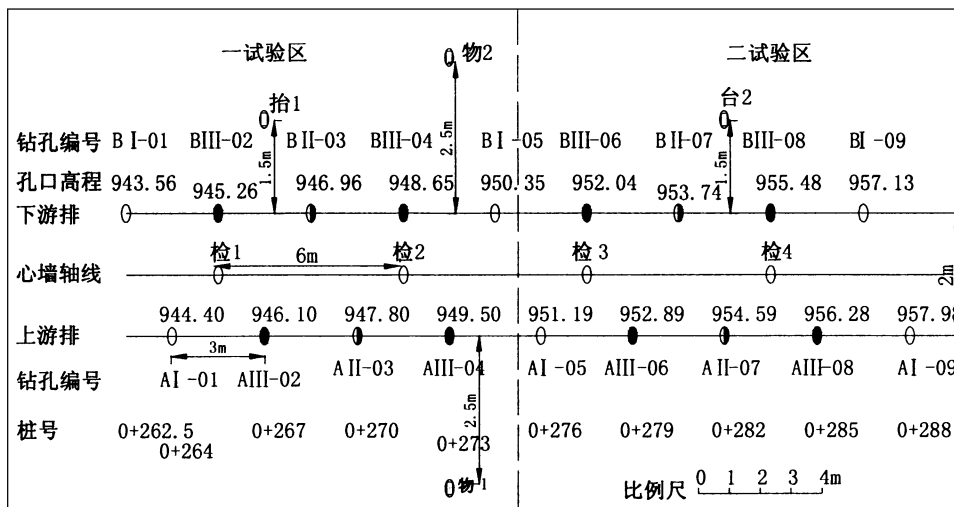
根据孔钻资料, 坝基弱风化岩体透水性分段如下: (1)  $0\sim 13.5\sim 0+000$ 段岩体的透水率为 $4.36$

~ 26Lu, 埋深 41m, 透水率  $q \leq 1Lu$  界限埋深为 46~47m。(2) 0+ 000~ 0+ 140m 段弱风化岩体的透水率  $q \leq 3Lu$  的界限埋深为 22~ 40m,  $q \leq 1Lu$  的界限埋深 40~ 45m。(3) 0+ 140~ 0+ 185 (河床) 基岩透水率较小,  $q \leq 3Lu$  的界线埋深为 5~ 10m,  $q \leq 1Lu$  的界线埋深普遍为 10~ 15m。(4) 0+ 185~ 0+ 403m (左岸) 段岩体的透水率  $q \leq 3Lu$  的界线埋深为 20~ 25m;  $q \leq 1Lu$  的界线埋深一般为 35~ 45m。从岩体透水率分布来看, 透水率较大的地段主要位于两坝

肩强弱风化带或卸荷带, 河床坝基段透水率很小。

#### 4 灌浆试验情况

在坝基桩号 0+ 262.5~ 0+ 288 段进行了灌浆试验, 共布置了 2 排帷幕, 18 个钻孔, 排距 2m, 孔距 3m, 孔深 50m 左右, 呈三角形布置, 压水试验检查孔 4 个, 物探声波检查孔 2 个, 岩体抬动观测孔 2 个。分三序次进行灌浆, 灌浆试验孔布置见图 2。



图例 ○ I 序孔 ● II 序孔 ● III 序孔 ○<sup>检</sup> 检查孔 ○<sup>抬</sup> 岩体抬动观测孔  
○<sup>物</sup> 物探声波测试孔  
A I -01 A 排 I 序 1 号孔 B I -01 B 排 I 序 1 号孔

图 2 坝基帷幕灌浆试验孔布置

#### 4.1 水泥注入量统计

灌浆顺序为先下游排 (B 排), 后上游排 (A 排)。B 排水泥单位注灰量为 14.64kg/m, A 排为 9.36kg/m。B 排平均单位注灰量分别为: I 序 15.53kg/m, II 序 14.85kg/m, III 序 13.8kg/m; A 排

为: I 序 11.27kg/m, II 序 13.1kg/m, III 序 6.05kg/m。基本反映出了随着灌浆次序加密, 注入量逐渐递减的规律。从单位注灰频率统计来看 (见表 1), 灌浆总段数 180 段, 其中单注 > 40kg/m, 共 9 段, 占 5%, 说明岩体的可灌性低。

坝基灌浆试验综合统计表

表 1

排序	灌浆次序	孔数	灌浆长度 (m)	水泥用量 (kg)	单位注灰量 (kg/m)	单位注灰频率 (区间段数/频率%)					平均透水率 LU	透水率频率 (区间段数/频率%)			
						总段数	< 5	5~ 10	10~ 20	20~ 40		> 40	总段数	< 1	1~ 3
A	I	3	153.9	1742.7	11.3	30	11/37	5/17	9/30	4/13	1/3	1.65	30	27/90	3/10
	II	2	101.7	1254.8	12.3	20	4/20	7/35	6/30	2/10	1/5	0.49	20	17/85	3/15
	III	4	203.5	1224.2	6.02	40	19/48	15/38	5/13	1/2.5		0.3	40	38/95	2/5
B	I	3	154.5	2364	15.3	30	6/20	6/20	8/27	9/30	1/3	2.43	30	7/24	18/60
	II	2	102	1491.4	14.6	20	7/35	6/30	3/15	1/5	3/15				
	III	4	203.8	2785.7	13.7	40	5/13	17/43	12/30	3/7	3/7	0.64	40	28/70	12/30
A 和 B	I	6	310.9	4106.7	13.2	60	17/28	11/19	17/28	13/22	2/3	2.04	60	34/56	21/35
	II	4	203.7	2746.2	13.5	40	11/28	13/32	9/22	3/8	4/10	0.49	20	17/85	3/15
	III	8	407.3	3999.9	9.82	80	24/30	32/40	17/21	4/5	3/4	0.47	80	66/82	14/18

## 4.2 灌浆前压水试验资料统计

先导孔(3个)共做了30段灌前单点压水试验,其它16个孔做了160段灌前简易压水试验,据试验结果:

I序孔:6个孔60段压水试验,最大值7.53Lu,最小值0.02Lu,平均值1.74Lu。

II序孔:4个孔20段压水试验,最大值1.24Lu,最小值0.02Lu,平均值0.49Lu。

III序孔:8个80段压水试验,最大值1.74Lu,最小值0Lu,平均值0.47Lu。

基本反映出了随着灌浆次序加密,注入量逐渐递减的规律。透水率较低,说明岩体的可灌性低。

## 4.3 灌浆效果检查

灌浆效果主要用检查孔压水试验及跨孔岩体波速测试。灌浆帷幕的防渗标准为不大于1Lu,共4个检查孔,做了195段压水试验,其中有效193段,

均小于1Lu,100%合格。检查结果表明,坝基岩体经过灌浆处理,其透水率能得到改善,岩体的可灌性低。

## 5 坝基防渗处理设计

该工程坝基帷幕灌浆工作早已完成,对心墙基础范围内进行铺盖式固结灌浆和双排帷幕灌浆,固结孔深6m,排距3m,孔距4m;帷幕孔深25~50m,排距2m,孔距3m。灌浆深度:桩号0-050~0-022.5为25m,0-022.5~0-13.5为25~36m,0-13.5~0+012.5为36~40m,0+012.5~0+052.5为40~50m,0+052.5~0+0262.5为50m,0+0262.5~0+319.0为50~40m,0+319.0~0+341.272为40m,0+341.272~0+353.272为40~25m,0+353.272~0+403.272为25m(见图3)。

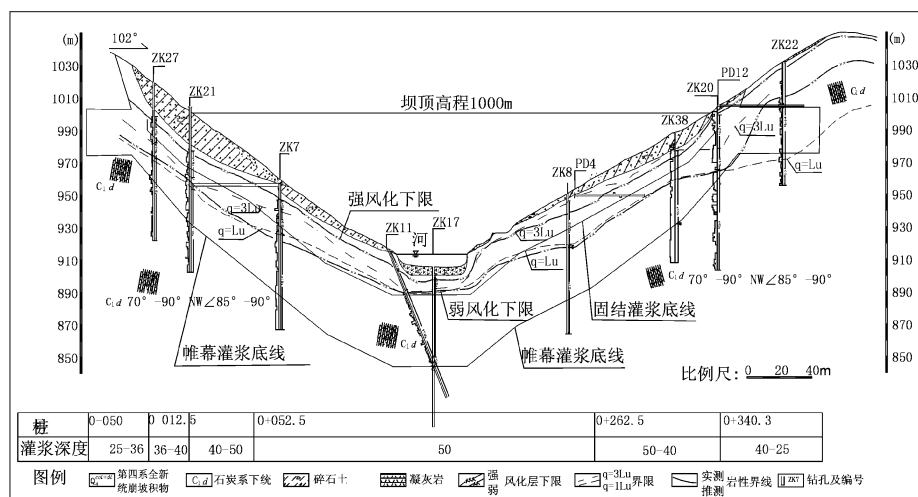


图3 坝基础防渗帷幕灌浆纵剖面

通过坝址区水文地质条件、坝基岩体透水性及灌浆试验三方面分析,作者认为该帷幕设计偏于保守,双排帷幕太多,灌浆深度也太深,比1Lu下限还深。

## 6 与国内外其它工程帷幕灌浆对比

我国的刘家峡、七里垅、黄坛口、响洪甸、梅山、石门等坝的灌浆帷幕都是用单排孔做成的;青铜峡的帷幕灌浆,最后检查孔满足透水率小于3Lu合格率只达88.3%,最大的透水率28Lu。这些坝都已运行了四五十年,与其它用更高标准做成的帷幕相比并无二致。这就说明,一旦帷幕(或原地层)具备了一定的防渗标准,不管它是怎样做成的,它的有效性是可以长期维持的。

西班牙从十九世纪50年代开始就试行一种新

的做法,除大理石、石灰岩等可溶性岩石以外,对其它各种坚硬致密的岩体以及夹有粉砂或粉土材料的地质,都是在大坝蓄水之前只设置好排水系统,先不做帷幕灌浆,但预留可供灌浆用的廊道,然后从蓄水开始就进行观测,根据排水孔出水量的大小和扬压力的高低,再决定是否需要进行灌浆,那里需要就在那里的排水孔中进行灌浆。利用这种方法,曾使许多坝避免了大量灌浆,节约了大量的投资。部分不设帷幕灌浆大坝的实例有:曼特里威勒(Matalaville),坝高106m,拱坝,基岩为古生代板岩及石英岩;包特丹墨(Portodemou),坝高85m,土石坝,基岩为古生代板岩,1968年蓄水<sup>[2]</sup>。

以上国内外实例说明,硬性以透水率作为是否需要灌浆的标准是不足取的,1~3Lu的指标在很多

(下转第73页)

验, 必将受到生产单位的欢迎。

### 参 考 文 献

- [1] 葛亮涛, 顾谦隆, 高洪烈. 多含水层混合井流理论及流量测井法 [M]. 北京: 地质出版社. 1984.
- [2] 马国彦. 流量测井在平凉市西北部供水水文地质勘察中的应

用 [J]. 水文地质工程地质. 2003.

- [3] 杨杰. 流量测井理论基础及其在水文地质工作中的应用 [J]. 物探与化探. 1985.
- [4] 张彦林, 李生永, 陶正平等. 甘肃省平凉市太统山岩溶水源地详查报告 [R]. 甘肃省地矿局第一地质矿产勘查院. 2001.

(上接第 22 页)

情况下是可以放宽的, 尤其是在帷幕的下部。借鉴以上工程实例, 作者认为: 该工程大坝作为土石坝, 在坝基具体水文地质条件有利于防渗的情况下, 灌浆指标可适当放宽。

### 7 结语

该工程坝基最发育的一组结构面就是层面, 走向与坝轴线一致, 因受构造变动, 发育层间挤压断层, 夹有断层泥, 具隔水作用, 水文地质条件有利于防渗。据钻孔压水试验, 岩体透水率  $q \leq 3Lu$  界线埋深 5~20m;  $q \leq 1Lu$  界线埋深在基岩面以下 15~30m, 坝基岩体透水性差。据灌浆试验, 坝基岩体可灌性差。本着工程建设安全、经济、合理的原

则, 像这样的坝基可以适当放宽灌浆指标, 或者预留灌浆廊道, 在大坝运行一段时间后, 根据坝基渗漏和坝基扬压力情况再进行灌浆, 甚至于不灌浆。随着我国经济实力的增强, 把每一项工程都建设得非常安全, 无可厚非。但也应根据每项工程的具体情况, 尽量做到经济与合理, 建设节约型工程。

### 参 考 文 献

- [1] 马国彦. 水利水电工程灌浆与地下水排水 [M]. 北京: 水利电力出版社. 2001.
- [2] 张景秀. 坝基防渗与灌浆技术 [M]. 北京: 水利电力出版社. 1992.

(上接第 26 页)

通过比较可以看出, 有效的控制和利用地下水降落漏斗, 应该首先考虑以下两个必要条件: 一是要有良好的水文地质条件, 包括含水层厚度大、颗粒粗, 地下水迳流条件好; 二是要有充足的补给水源, 包括地表水入渗补给和地下水的侧向迳流补给。

区域地下水位下降可能引起地面沉降, 在含水层颗粒较细的地区表现尤为明显, 因此漏斗区应避开城市和建筑物集中区。另外漏斗区地下水的补给量增加, 可能造成不良水体的侵入, 应同时重视水质的预测与监控。

充分考虑了以上几方面的因素, 就可以较好地控制与利用区域地下水降落漏斗, 最大限度地获取地下水资源, 又不会产生严重的环境地质问题。

### 5 结语

地下水资源是一种可持续开采、可再生的资

源, 地下水降落漏斗本身并不是地质灾害, 而是地下水开采过程中产生的一种水文地质现象, 它是可以控制和恢复的, 只有在控制不当的情况下才会引发一系列地质环境问题。科学合理地控制地下水开采强度, 可以保证在不产生明显环境影响的条件下, 获取最理想的地下水资源量, 使资源开发与环境保护相协调。

### 参 考 文 献

- [1] 林学钰, 陈梦熊等. 松嫩盆地地下水资源与可持续发展研究 [M]. 北京: 地震出版社. 2000.
- [2] 王逊, 尹喜霖等. 黑龙江省环境地质调查报告 [R]. 2001.
- [3] 张瑛, 王亮等. 辽宁省环境地质调查报告 [R]. 2001.
- [4] 02 07 Depth to Ground-water. Urban and Environmental Information System (UEIS), Berlin Department of Urban Development.
- [5] 徐军祥, 康凤新等. 山东省地下水资源可持续开发利用研究 [M]. 海洋出版社. 2001.